



TUGAS AKHIR TF 141581

**IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED*
MAINTENANCE (RCM) PADA SISTEM
METHANATOR DI PT. PETROKIMIA GRESIK
PABRIK 1 AMONIAK**

MUGI NURDINI
NRP 2414.105.027

Dosen Pembimbing:
Ir. Yaumar, M.T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT TF 141581

**IMPLEMENTATION OF RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE (RCM) ON METHANATOR
SYSTEM AT PT. PETROKIMIA GRESIK FACTORY
1 AMMONIA**

MUGI NURDINI
NRP 2414.105.027

Advisor Lecturer:
Ir. Yaumar, M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

This page is intentionally left blank

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

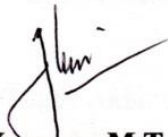
IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED* *MAINTENANCE (RCM)* PADA SISTEM *METHANATOR* DI PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK 1 AMONIAK

Oleh :

MUGI NURDINI
NRP. 2414.105.027

Surabaya, Juli 2016
Mengetahui/Menyetujui,

Dosen Pembimbing,



Ir. Yassar, M.T.
NIP:195404061981031003

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP:197809022003121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED* *MAINTENANCE (RCM)* PADA SISTEM *METHANATOR* DI PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK 1 AMONIAK

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S1 Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :
MUGI NURDINI
NRP. 2414.105.027

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yaumar, M.T. (Dosen Pembimbing)
2. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. (Ketua Penguji)
3. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes. (Dosen Penguji I)
4. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA. (Dosen Penguji II)

SURABAYA
Juli 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan

“IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) PADA SISTEM *METHANATOR* DI PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK 1 AMONIAK”

Nama Mahasiswa : Mugi Nurdini
NRP : 2414 105 027
Jurusan : Teknik Fisika, FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yaumar, M.T.

ABSTRAK

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada sistem *methanator* yang berfungsi untuk mengkonversi CO dan CO₂ sisa proses CO *shift conversion* dan CO₂ *removal* ke dalam bentuk Metana (CH₄), sebelum memasuki proses sintesis amoniak. Analisis kualitatif pada masing-masing komponen/unit penyusun sistem *methanator* adalah berupa penjelasan fungsi (*system function*) yang diikuti dengan hasil pengolahan data yang disajikan dalam tabel FMEA dan tabel *decision worksheet*. Analisis kuantitatif pada masing-masing komponen/unit penyusun sistem *methanator* didasarkan atas hasil perhitungan keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), keterawatan (*maintainability*), serta hubungan antara laju kegagalan (*failure rate*) terhadap langkah *preventive maintenance* yang diimplementasikan terhadap masing-masing komponen/unit. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa komponen kritis berdasarkan nilai keandalannya yang sudah mencapai 0,6 saat sebelum 1000 jam operasi adalah unit-unit besar itu sendiri, yaitu *Exchanger* 114-C, *Methanator* 106-D, dan *Cooler* 115-C. Pada akhirnya, dari 7 unit/komponen yang ada, didapatkan 1 komponen dengan *scheduled restoration task*, 2 komponen dengan *scheduled on-condition task*, dan 4 komponen dengan *no scheduled maintenance*, berdasarkan hasil implementasi *preventive maintenance*.

Kata Kunci: Sistem *Methanator*, RCM, *Preventive Maintenance*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**“IMPLEMENTATION OF RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE (RCM) ON METHANATOR SYSTEM AT
PT. PETROKIMIA GRESIK FACTORY 1 AMMONIA”**

Student Name : Mugi Nurdini
NRP : 2414 105 027
Department : Engineering Physics, FTI-ITS
Advisor Lecturer : Ir. Yaumar, M.T.

ABSTRACT

In this final project there is an implementation of Reliability Centered Maintenance (RCM) on methanator system which has main function in converting CO and CO₂ from CO shift conversion and CO₂ removal system to Methane (CH₄) form, before entering synthesis of ammonia process. Qualitative analysis in each components of methanator system is about explanation of system function that is following with the result of data processing which is written as FMEA table and decision worksheet table. Quantitative analysis in each components of methanator system is based on measurement of reliability, availability, maintainability, and the relationship between failure rate and preventive maintenance that is implemented to each components. From the result, we know that critical components based on its reliability of 0,6 before 1000 operation hours are the main components, such as Exchanger 114-C, Methanator 106-D, and Cooler 115-C. Finally, from all the 7 components, we got 1 component with scheduled restoration task, 2 components with scheduled on-condition task, and 4 components with no scheduled maintenance, based on the implementation of preventive maintenance.

Key Words: Methanator System, RCM, Preventive Maintenance

This page is intentionally left blank

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul:

“IMPLEMENTASI *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* (RCM) PADA SISTEM *METHANATOR* DI PT. PETROKIMIA GRESIK PABRIK 1 AMONIAK”

Pada kesempatan ini, penulis juga menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang turut membantu dalam pelaksanaan pengerjaan tugas akhir, pembimbingan tugas akhir secara teoretis maupun praktis, penyelesaian laporan tugas akhir, serta bantuan-bantuan terkait tugas akhir lainnya, yang secara khusus penulis memberikan ucapan terima kasih tersebut kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS;
2. Bapak Ir. Yaumar, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu pembimbingan serta memberikan ilmunya dengan tulus kepada penulis;
3. Bapak Angga Saputra selaku pembimbing lapangan di lokasi pengerjaan tugas akhir, PT. Petrokimia Gresik, yang telah meluangkan waktu, mentransfer ilmu, dan memberikan data dan informasi yang dibutuhkan untuk pengerjaan tugas akhir;
4. Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes. selaku dosen wali penulis yang telah memberikan banyak pengarahan selama penulis berstatus sebagai mahasiswa;
5. Erwinda Septianingtyas, Berlian Mega Patrica, dan Esther Luciane selaku rekan kerja dalam pelaksanaan tugas akhir;
6. Kedua orang tua yang telah memberikan doa, dukungan, serta kasih sayang sepanjang masa; dan

7. Rekan-rekan seperjuangan di departemen Teknik Fisika ITS yang telah membantu dan selalu ada dalam suka maupun duka.

Demikian pengantar dari penulis, semoga laporan tugas akhir ini dapat sebesar-besarnya bermanfaat bagi jurusan Teknik Fisika ITS, Departemen Pemeliharaan 1 PT. Petrokimia Gresik, maupun para pembaca sekalian, sehingga dapat menjadi rujukan untuk penelitian serupa/lanjutan. Adapun karya tulis ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis sangat terbuka pada saran maupun kritik yang membangun dari pembaca sekalian.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak.....	ix
<i>Abstract</i>.....	xi
Kata Pengantar.....	xiii
Daftar Isi.....	xv
Daftar Gambar.....	xvii
Daftar Tabel.....	xix
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
Bab 2 Teori Penunjang	5
2.1 Prinsip Dasar Operasi Sistem <i>Methanator</i>	5
2.2 Keandalan (<i>Reliability</i>).....	8
2.3 Laju Kegagalan (<i>Failure Rate</i>).....	10
2.4 Distribusi Laju Kegagalan(<i>Failure Rate Distribution</i>)	10
2.5 Keterawatan (<i>Maintainability</i>)	16
2.6 Ketersediaan (<i>Availability</i>).....	17
2.7 <i>Reliability Centered Maintenance</i> (RCM)	17
Bab 3 Metodologi	29
3.1 Pengumpulan Data	30
3.2 Identifikasi Sistem, Unit, dan Komponen	30
3.3 Pengolahan Data Kualitatif	35
3.4 Pengolahan Data Kuantitatif	41

Bab 4 Analisis Data dan Pembahasan	47
4.1 Analisis Kualitatif.....	47
4.2 Analisis Kuantitatif.....	56
Bab 5 Penutup.....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran.....	76
Daftar Pustaka.....	77
Lampiran A P&ID Sistem <i>Methanator</i>	
Lampiran B Lembar Validasi Data	
Lampiran C Data <i>Maintenance</i> Sistem <i>Methanator</i>	
Lampiran D Data HAZOP dan Hasil Wawancara	
Lampiran E <i>The RCM II Decision Diagram</i>	
Lampiran F Grafik Ketersediaan A(t) dan Keterawatan M(t)	
Tentang Penulis	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Simple</i> PFD Proses Metanasi [1].....	5
Gambar 2.2	Diagram Blok Proses Produksi Amoniak [1].....	6
Gambar 2.3	Kurva Pola Distribusi Normal [12]	11
Gambar 2.4	Kurva Pola Distribusi Lognormal [12]	13
Gambar 2.5	Kurva Pola Distribusi <i>Weibull</i> [12].....	14
Gambar 2.6	Kurva Pola Distribusi Eksponensial [12]	15
Gambar 2.7	<i>Bathtub Curve</i> [8]	23
Gambar 2.8	(a) Implementasi <i>Preventive Maintenance</i> untuk Sistem dengan <i>Increasing Failure Rate</i> (IFR) dan (b) <i>Decreasing Failure Rate</i> (DFR).....	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir	29
Gambar 3.2	<i>Simple</i> PFD Unit <i>Exchanger</i> 114-C	31
Gambar 3.3	<i>Simple</i> PFD Unit <i>Methanator</i> 106-D	33
Gambar 3.4	<i>Simple</i> PFD Unit <i>Cooler</i> 115-C	34
Gambar 3.5	Tampilan Input Data pada <i>Worksheet Reliasoft</i> <i>Weibull ++</i>	43
Gambar 3.6	Tampilan <i>Distribution Ranking</i> untuk Setiap Distribusi pada <i>software Reliasoft Weibull ++</i>	43
Gambar 3.7	Tampilan Parameter-parameter Distribusi	44
Gambar 4.1	Keandalan PV-1005 Terhadap Waktu	58
Gambar 4.2	Laju Kegagalan PV-1005 Terhadap Waktu	59
Gambar 4.3	Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> pada PV-1005	60
Gambar 4.4	Keandalan PT-1005 Terhadap Waktu	61
Gambar 4.5	Laju Kegagalan PT-1005 Terhadap Waktu	62
Gambar 4.6	Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> pada PT-1005	62
Gambar 4.7	Keandalan TV-1012 Terhadap Waktu	63

Gambar 4.8 Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> pada TV-1012	64
Gambar 4.9 Keandalan TT-1012 Terhadap Waktu	65
Gambar 4.10 Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> pada TT-1012.....	65
Gambar 4.11 Keandalan <i>Exchanger</i> 114-C Terhadap Waktu....	66
Gambar 4.12 Laju Kegagalan <i>Exchanger</i> 114-C Terhadap Waktu	67
Gambar 4.13 Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> pada 114-C..	68
Gambar 4.14 Keandalan <i>Methanator</i> 106-D Terhadap Waktu ..	69
Gambar 4.15 Laju Kegagalan 106-D Terhadap Waktu	69
Gambar 4.16 Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> pada 106-D ..	70
Gambar 4.17 Keandalan <i>Cooler</i> 115-C Terhadap Waktu	71
Gambar 4.18 Laju Kegagalan <i>Cooler</i> 115-C Terhadap Waktu..	72
Gambar 4.19 Penerapan <i>Preventive Maintenance</i> pada 115-C..	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Deskripsi <i>System Function and Functional Failure</i> dari <i>Exhaust System 5 MW Turbine</i> [5]	19
Tabel 2.1 Lanjutan.....	20
Tabel 2.2 Deskripsi <i>Failure Mode and Failure Effect</i> [5]	21
Tabel 3.1 Contoh Tabel FMEA pada <i>Unit Guard Beds Filter</i> [10]	35
Tabel 3.2 Contoh <i>Decision Worksheet</i> pada <i>Unit Guard Beds Filter</i> [10]	35
Tabel 3.3 Contoh Data HAZOP pada <i>Sistem Primary Reformer Section</i> [1]	36
Tabel 3.4 Referensi Jenis <i>Failure Mode</i> (FM) yang Biasa Terjadi pada Komponen/Unit Penyusun Sistem <i>Methanator</i> [9]	37
Tabel 3.5 <i>Maintainable Item</i> untuk <i>Shell and Tube Exchanger</i> [9]	40
Tabel 4.1 FMEA <i>Pressure Valve</i> (PV) 1005	47
Tabel 4.1 Lanjutan.....	48
Tabel 4.2 <i>Decision Worksheet</i> untuk <i>Pressure Valve</i> (PV) 1005	48
Tabel 4.3 FMEA <i>Pressure Transmitter</i> (PT) 1005.....	49
Tabel 4.4 <i>Decision Worksheet Pressure Transmitter</i> (PT) 1005	49
Tabel 4.5 FMEA <i>Temperature Valve</i> (TV) 1012	50
Tabel 4.6 <i>Decision Worksheet Temperature Valve</i> (TV) 1012...	51
Tabel 4.7 FMEA <i>Temperature Transmitter</i> (TT) 1012	51
Tabel 4.8 <i>Decision Worksheet Temperature Transmitter</i> (TT) 1012	52
Tabel 4.9 FMEA <i>Methanator Feed/Effluent Exchanger</i> 114-C	52
Tabel 4.9 Lanjutan.....	53

Tabel 4.10	<i>Decision Worksheet untuk Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C</i>	53
Tabel 4.11	FMEA Methanator 106-D	54
Tabel 4.12	<i>Decision Worksheet untuk Methanator 106-D</i>	55
Tabel 4.13	FMEA Methanator Effluent Cooler 115-C.....	55
Tabel 4.14	<i>Decision Worksheet untuk Methanator Effluent Cooler 115-C</i>	56
Tabel 4.15	Data Kuantitatif untuk PV-1005	57
Tabel 4.16	Pengolahan Data Keandalan PV-1005 di Ms. Excell.....	58
Tabel 4.19	Penjadwalan <i>Maintenance</i> Komponen Penyusun Sistem <i>Methanator</i> berdasarkan Hasil Implementasi <i>Preventive Maintenance</i>	73

ITS yang kerap disebut sebagai kampus perjuangan menjadi wadah tersendiri bagi penulis untuk mengembangkan ilmu dan jiwa kepemimpinan. Di kampus perjuangan tersebut penulis pernah menjadi bagian dari *student volunteer* di ITS *International Office* pada divisi *workshop*, asisten laboratorium dan pengurus divisi *student development* di Laboratorium Rekayasa Fotonika, serta sekretaris umum di *The Optical Society of America* (OSA) ITS *Student Chapter*.

Terkait karya tugas akhir, penulis memang menyukai bidang instrumentasi yang berkaitan dengan *maintenance*, di samping bidang fotonika yang juga menjadi minat studinya. Tema tugas akhir yang dibahas pada laporan tugas akhir ini juga berkaitan dengan tema kerja praktik yang ia ambil pada Januari 2016 di PT. Pertamina RU IV Cilacap, yang membahas tentang perhitungan *Safety Integrity Level* (SIL) menggunakan metode *Layer of Protection Analysis* (LOPA).

Motto hidup yang menjadi andalan penulis adalah, “Tiap-tiap kita adalah seorang ahli pada suatu disiplin ilmu. Namun, bersamaan dengan itu, tiap-tiap kita adalah sekaligus seorang awam pada disiplin ilmu lainnya.” Motto hidup tersebut menjadi suatu dasar yang menyebabkan penulis selalu harus bertanya, mencari tahu, berkolaborasi antar disiplin ilmu, berwawasan global, dan selalu haus ilmu.

Bagi pembaca sekalian yang ingin bertanya terkait karya tugas akhir maupun kepentingan lainnya, penulis dapat dihubungi melalui nomor ponsel 087823072242 atau melalui *e-mail* di muginurdini@gmail.com.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, perkembangan di bidang industri semakin berkembang pesat. Perkembangan tersebut menuntut performansi alat-alat industri yang baik dan berkualitas. Performansi alat menjadi penting dalam kaitannya dengan untung-rugi yang akan didapatkan industri tersebut, tak terkecuali untuk industri pupuk. Amoniak (NH_3) adalah produk sampingan selain pupuk di PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur. Dalam hal ini, *methanator* adalah salah satu sistem yang menyusun *plant* amoniak di Departemen Produksi I, PT. Petrokimia Gresik. Sistem ini berfungsi untuk mengonversi CO dan CO_2 sisa proses CO *shift conversion* dan CO_2 *removal* ke dalam bentuk Metana (CH_4), sebelum memasuki proses sintesis amoniak. Dengan proses metanasi menggunakan katalis Ni, diharapkan konsentrasi karbondioksida dan karbonmonoksida setelah keluar dari unit ini mendekati 0%, atau tidak lebih dari 10 ppm [1].

Keandalan didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu *item* untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dari lingkungan tertentu, untuk periode waktu yang telah ditentukan [2]. Agar proses konversi CO dan CO_2 ke dalam bentuk Metana (CH_4) sebelum memasuki proses sintesis amoniak berjalan dengan maksimal, diperlukan sistem *methanator* dengan performansi dan keandalan yang baik pada setiap komponen penyusunnya. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan metode yang digunakan untuk mengembangkan, memilih, dan membuat alternatif strategi perawatan yang didasarkan pada kriteria operasional, ekonomi, dan keamanan. Pada metode ini juga terdapat suatu langkah identifikasi mode kegagalan yang terjadi, yang bertujuan untuk mengoptimalkan *preventive maintenance* yang selama ini telah dilakukan [3].

Proses metanasi pada sistem *methanator* di PT. Petrokimia Gresik melibatkan tiga unit utama, yaitu *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C, *Methanator* 106-D, dan *Methanator Effluent Cooler* 115-C. Selama ini, kegiatan pemeliharaan komponen-komponen penyusun sistem *methanator* tersebut belum maksimal. Artinya, sistem pemeliharaan yang ada masih kurang memperhatikan faktor keandalan komponen. Hal tersebut dibuktikan dengan pemeliharaan komponen yang baru dilakukan pada saat terjadi kerusakan, yaitu dengan pergantian komponen. Selain itu, secara umum sistem perawatan di PT. Petrokimia Gresik juga masih bergantung pada kegiatan *turn around (overhaul)* perusahaan. Antisipasi kegagalan dengan pembuatan jadwal pemeliharaan secara berkala belum banyak diterapkan. Padahal, sistem *methanator* merupakan sistem yang kritis pada *plant* amoniak. *Plant* amoniak akan nonaktif apabila CO dan CO₂ yang memasuki sistem sintesis amoniak melebihi toleransi 10 ppm. Kemudian, diketahui bahwa katalis sistem *methanator* yang berupa Nikel (Ni) memiliki tingkat kejenuhan hingga 5 tahun, sedangkan kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa katalis tersebut sering harus diganti sebelum mencapai waktu 5 tahun. Hal tersebut diakibatkan oleh menurunnya performansi komponen-komponen penyusun sistem.

Berdasarkan fakta-fakta yang telah dipaparkan, metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) perlu diterapkan karena merupakan bentuk manajemen perawatan yang berbasis keandalan sistem [2]. Metode ini juga merupakan pendekatan yang efektif untuk pengembangan program *preventive maintenance* untuk meminimalisasi kegagalan. Implementasi metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) akan menghasilkan jadwal pemeliharaan dengan interval yang tepat berdasarkan aspek-aspek keandalannya [4]. Penelitian-penelitian sebelumnya juga memberikan gambaran, bahwa implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) akan menjaga nilai keandalan komponen-komponen penyusun suatu sistem, terutama komponen-komponen kritisnya, serta mengoptimalkan

pemeliharaan berdasarkan prinsip-prinsip *Reliability Centered Maintenance* (RCM) secara keseluruhan [5].

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan pada subbab sebelumnya, permasalahan yang mendasari pengerjaan tugas akhir ini adalah:

- a. Terdapat *failure* dan *repair* pada komponen-komponen penyusun sistem *methanator*.
- b. Belum adanya jadwal pemeliharaan berkala pada komponen-komponen penyusun sistem *methanator*.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan-rumusan permasalahan, tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini yaitu:

- a. Untuk menganalisis aspek kualitatif dan kuantitatif komponen-komponen penyusun sistem *methanator*, dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM).
- b. Untuk menjadwalkan pemeliharaan berkala berdasarkan nilai keandalan, keterawatan, ketersediaan, serta *preventive maintenance* dari komponen-komponen penyusun sistem *methanator*.

1.4 Batasan Masalah

Agar pengerjaan tugas akhir ini tidak menimbulkan permasalahan yang meluas di luar topik yang diangkat, maka ditentukan batasan masalah yang menjadi lingkup kajian dalam penelitian ini, antara lain:

- a. Evaluasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dibatasi pada sistem *methanator* yang terdiri dari tiga unit utama, yaitu *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C, *Methanator* 106-D, dan *Methanator Effluent Cooler* 115-C.

- b. Data yang digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif yaitu data *Process Flow Diagram* (PFD), *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID), *Hazard and Operability Analysis* (HAZOP), data rekaman pemeliharaan (*maintenance record*) tahun 2008 hingga Maret 2016 per komponen yang ada pada masing-masing unit penyusun sistem *methanator*.
- c. Pendekatan distribusi kegagalan pada setiap komponen ditentukan berdasarkan hasil implementasi dari *software Reliasoft Weibull ++*.
- d. Analisis kualitatif setiap komponen disajikan dalam bentuk penjabaran fungsi komponen, tabel deskripsi *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dan tabel *Decision Worksheet*.
- e. Analisis kuantitatif setiap komponen terdiri atas perhitungan keandalan, ketersediaan, keterawatan, dan *preventive maintenance*.

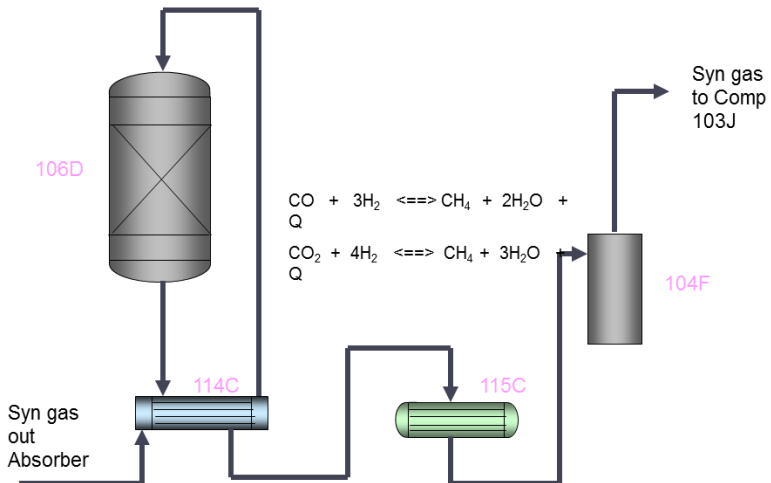
BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Prinsip Dasar Operasi Sistem *Methanator*

Sistem *methanator* di Departemen Produksi I, PT. Petrokimia Gresik, seperti yang diilustrasikan Gambar 2.1, terdiri dari tiga unit utama dengan deskripsi sebagai berikut [1]:

- Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C, merupakan penukar panas yang berfungsi untuk menaikkan temperatur input gas sebelum memasuki tabung *Methanator* 106-D.
- Methanator* 106-D, merupakan tabung reaksi yang berisi katalis dengan fungsi utama untuk mengubah gas CO dan CO₂ menjadi Metana (CH₄) dan air.
- Methanator Effluent Cooler* 115-C, merupakan pendingin output gas sebelum memasuki sistem selanjutnya (*syn gas compression*).

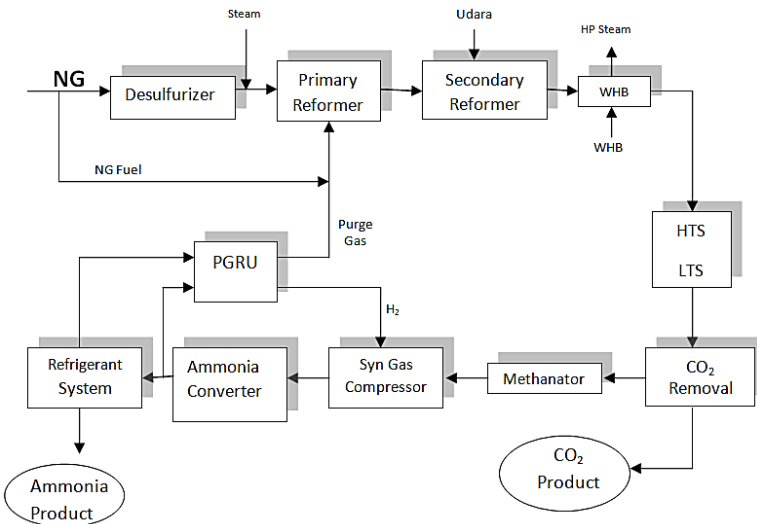


Gambar 2.1 Simple PFD Proses Metanasi [1]

Amoniak (NH_3) dihasilkan dari reaksi antara H_2 dan N_2 dalam fase gas dengan rasio $\text{H}_2/\text{N}_2 = 3$. Gas H_2 diperoleh dari reaksi gas bumi (*Natural Gas* atau NG) dengan *steam*, sedangkan N_2 diperoleh dari udara bebas yang dimasukkan ke dalam sistem. Di samping dua komponen gas tersebut, juga tercampur gas lain yang ikut, di mana kandungan gas lain ini dibatasi seperti Argon (Ar) dan Metana (CH_4) yang lazim disebut *inert gas* [6].

Proses pembuatan amoniak secara umum terdiri dari [1]:

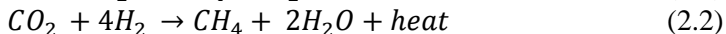
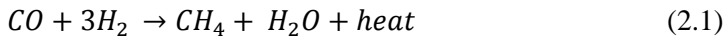
- a. Penyediaan gas sintesis
 - Desulfurisasi bahan baku
 - *Steam reforming* pada *primary reformer* dan *secondary reformer*
 - *CO Shift Conversion* pada HTS dan LTS
- b. Pemurnian gas sintesis
- c. CO_2 removal
 - Metanasi
 - Sintesis amoniak
- d. Refrigerasi
- e. *Recovery purge gas*



Gambar 2.2 Diagram Blok Proses Produksi Amoniak [1]

Berdasarkan kelima tahap proses pada Gambar 2.2 tersebut, sistem *methanator* berperan pada tahap kedua, yaitu pemurnian gas sintesis sebelum akhirnya Amoniak (NH_3) dibuat. Input yang masuk pada sistem *methanator* adalah gas sintesis yang masih mengandung CO dan CO_2 sisa proses sebelumnya. Pada proses sebelumnya, CO hampir semua diubah menjadi CO_2 oleh sistem CO *shift conversion* dan CO_2 tersebut disaring (diabsorbsi) pada proses selanjutnya, yaitu oleh sistem *CO_2 removal*. Namun, keluaran dari sistem *CO_2 removal* tersebut masih meninggalkan sisa CO dan CO_2 , di mana masing-masing dari keduanya masih berkisar antara 0,3% dan 0,06%. CO dan CO_2 tersebut sebisa mungkin dihilangkan karena apabila masuk ke katalis *syn loop* akan menjadi racun katalis, sehingga menyebabkan sistem menjadi tidak aktif. Untuk menghindari hal tersebut, CO dan CO_2 dikonversikan menjadi Metana (CH_4) yang bersifat *inert* terhadap katalis di *syn loop*. Pada proses metanasi di *methanator*, digunakan katalis berupa Nikel (Ni), di mana reaksi dilakukan pada suhu 315°C dan tekanan $31,6 \text{ kg/cm}^2$.

Reaksi yang terjadi pada proses metanasi adalah:



Panas (*heat*) pada Reaksi 2.1 adalah sebesar $88,6 \times 10^3 \text{ Btu/lb mol CO}$, sedangkan pada Reaksi 2.2 sebesar $70,9 \times 10^3 \text{ Btu/lb mol CO}_2$. Kedua reaksi ini bersifat sangat eksotermis yang banyak memerlukan Hidrogen (H_2). Kenaikan CO dan CO_2 sedikit saja dapat menaikkan suhu dengan cepat, di mana setiap 1% mol CO_2 akan menaikkan temperatur sebesar 60°C dan CO sebesar 72°C [6]. Karena demikian tingginya sifat eksotermis pada reaksi di *methanator* ini, maka *vessel* pada sistem dilengkapi dengan proteksi alarm dan *trip* sistem untuk temperatur yang tinggi, di mana secara *interlock* akan menutup *valve inlet methanator*.

Proses metanasi pada akhirnya menghasilkan keluaran berupa 25,65% N₂, 73,23% H₂, 0,80% CH₄, 0,32% Ar, serta 0% untuk CO maupun CO₂ (dengan toleransi CO + CO₂ yang diizinkan maksimal sebesar 10 ppm) [1].

Untuk menjaga agar CO dan CO₂ yang lolos ke proses berikutnya terjaga pada batas normal, maka pengendalian proses pada sistem *methanator* ini terbagi ke dalam beberapa parameter yang harus dijaga stabil, yaitu:

- a. Temperatur inlet dijaga sebesar 285°C.
- b. Bila kandungan CO dan CO₂ yang lolos *methanator* tinggi, kecepatan reaksi dinaikkan dengan menaikkan temperatur inlet.
- c. Bila kandungan CO dan CO₂ inlet *methanator* tinggi maka temperatur outlet akan naik, sehingga gas masuk ke *absorber* harus dikurangi agar beban *absorber* berkurang.

2.2 Keandalan (*Reliability*)

Keandalan atau *reliability* memiliki peran yang semakin penting di dalam bidang instrumentasi, di mana desain dari suatu produk akan sangat berkaitan dengan kompetisi pasar, tuntutan konsumen, regulasi/hukum yang berkaitan dengan keandalan/kualitas, maupun pendapatan perusahaan [8]. Secara matematis, keandalan merupakan besarnya probabilitas suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi atau melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu dan kondisi waktu tertentu [7].

Keandalan merupakan probabilitas yang nilainya selalu di antara 0 dan 1 [2]. Probabilitas pada keandalan adalah kaitan suatu laju kegagalan dari sistem atau komponen berdasarkan fungsi waktu. Kegagalan/*failure* dapat didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu komponen untuk menjalankan fungsinya pada suatu sistem. Karena itulah, keandalan merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proses produksi.

Perhitungan tingkat keandalan sebuah aset dapat ditentukan melalui dua cara, yaitu [3]:

- a. Menggunakan teknik *inherent reliability*, yaitu mengetahui secara langsung dari pabrik pembuat (*vendor*

equipment) tentang besarnya *reliability asset* pada saat didesain. Namun, cara ini cenderung sulit untuk dilakukan karena *inherent reliability* sebuah aset merupakan rahasia perusahaan. *Inherent reliability* tersebut biasanya ditentukan berdasarkan suatu uji coba (*reliability testing*) terhadap sebuah produk, sebelum produk tersebut dipasarkan.

- b. Menggunakan perhitungan manual dengan persamaan matematis berdasarkan hasil evaluasi data operasi dan data perawatan/pemeliharaan aset.

Untuk menghitung nilai keandalan menggunakan rumus matematis, dapat digunakan Persamaan 2.1 berikut:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

di mana,

$F(t)$: *Cumulative Distribution Function* (CDF)

$R(t)$: *Reliability Function*

$f(t)$: *Probability Density Function* (PDF)

Evaluasi keandalan dikembangkan berdasarkan metode kuantitatif dan kualitatif. Pada dasarnya, kedua jenis analisis tersebut saling berkaitan dan saling melengkapi satu sama lain.

- a. Metode kualitatif

Metode kualitatif merupakan metode analisis secara *quality* melalui perspektif praktis dari suatu masalah, di mana analisis kualitatif juga banyak melibatkan studi dari pengalaman lapangan atau kepakaran. Analisis kualitatif dilakukan untuk menentukan jenis kegiatan yang paling efektif diterapkan pada suatu sistem, ditinjau dari bentuk kegagalannya.

- b. Metode kuantitatif

Metode kuantitatif merupakan metode analisis berupa perhitungan secara matematis yang dilakukan melalui pendekatan/distribusi numerik. Metode ini dilakukan berdasarkan data sekunder berupa rekaman pemeliharaan

(*maintenance record*). Dari data rekaman pemeliharaan tersebut dapat ditentukan waktu kegagalan atau *Time To Failure* (TTF) dan waktu perbaikan atau *Time To Repair* (TTR). TTF dan TTR komponen kemudian akan mengikuti jenis distribusi kegagalannya, antara lain distribusi normal, lognormal, eksponensial, atau *weibull*.

2.3 Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan atau *failure rate* (λ) diartikan sebagai banyaknya kegagalan yang terjadi per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai rasio antara total jumlah kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu terhadap total jumlah waktu operasi komponen, subsistem, dan sistem. Jadi, laju kegagalan menunjukkan seberapa sering suatu *item* mengalami kegagalan pada periode waktu tertentu [2]. Laju kegagalan dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2.2, Persamaan 2.3, atau Persamaan 2.4 berikut [7]:

$$\lambda(t) = \frac{f}{T} \quad (2.2)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTTF} \quad (2.4)$$

di mana,

f : Banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T : Total waktu operasi

MTTF : Rata-rata kegagalan (*failure*) yang terjadi

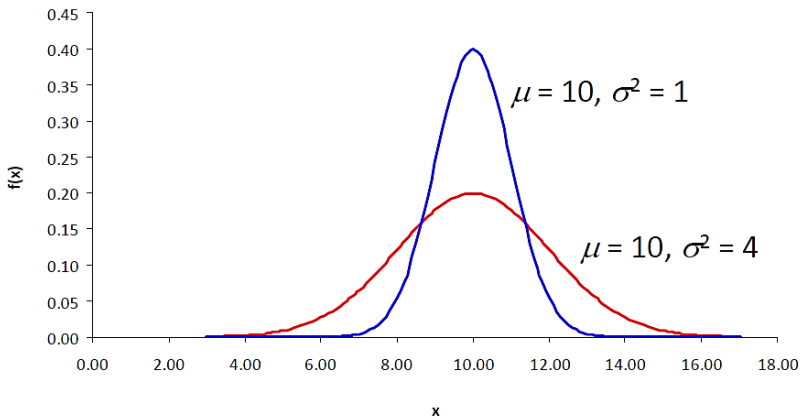
2.4 Distribusi Laju Kegagalan (*Failure Rate Distribution*)

Distribusi laju kegagalan atau *failure rate distribution* didapatkan berdasarkan data *Time To Failure* (TTF) dan *Time To Repair* (TTR). *Time To Failure* (TTF) didefinisikan sebagai

waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan, sedangkan *Time To Repair* (TTR) didefinisikan sebagai waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen agar dapat berfungsi kembali. Parameter-parameter implementasi yang didapatkan dari pendekatan jenis distribusi data selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), dan keterawatan (*maintainability*) dari setiap komponen.

2.4.1 Distribusi Normal (*Normal Distribution*)

Distribusi normal yang juga dikenal dengan istilah distribusi *gaussian* merupakan salah satu jenis distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan pola penyebaran data. Pola distribusi normal diilustrasikan pada Gambar 2.3. *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*). Dispersi terhadap nilai rata-rata (*mean*) distribusi normal diukur berdasarkan nilai standar deviasi. Jadi, parameter-parameter distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi.



Gambar 2.3 Kurva Pola Distribusi Normal [12]

Probability Density Function (PDF) dari distribusi normal dapat ditulis seperti Persamaan 2.5 berikut [7]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi *normal*, maka fungsi keandalan distribusi *normal* dapat dihitung berdasarkan Persamaan 2.6 berikut:

$$R(t) = 1 - \Phi \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad (2.6)$$

di mana,

μ : *Mean*

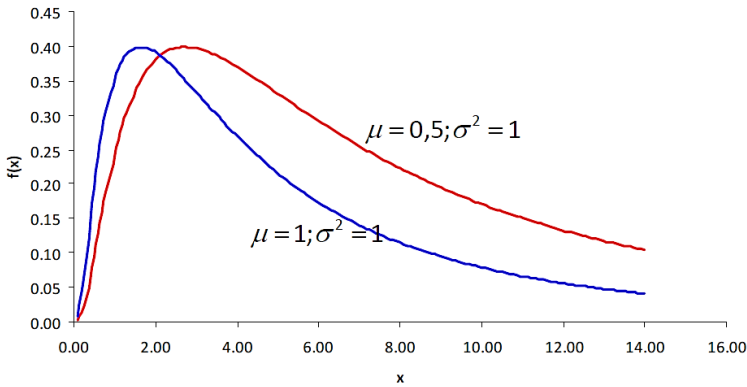
σ : *Variance*

2.4.2 Distribusi Lognormal (*Lognormal Distribution*)

Pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi lognormal, logaritma T memiliki distribusi normal. Fungsi kerapatan peluang untuk distribusi lognormal ditunjukkan pada Persamaan 2.7 berikut [7]:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

Karakteristik distribusi lognormal memiliki dua parameter, yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter skala (σ), sama dengan standar deviasi. Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi pola penyebaran data yang mengikuti distribusi lognormal.



Gambar 2.4 Kurva Pola Distribusi Lognormal [12]

Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi lognormal, maka fungsi keandalan distribusi lognormal dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.8 berikut [7]:

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.8)$$

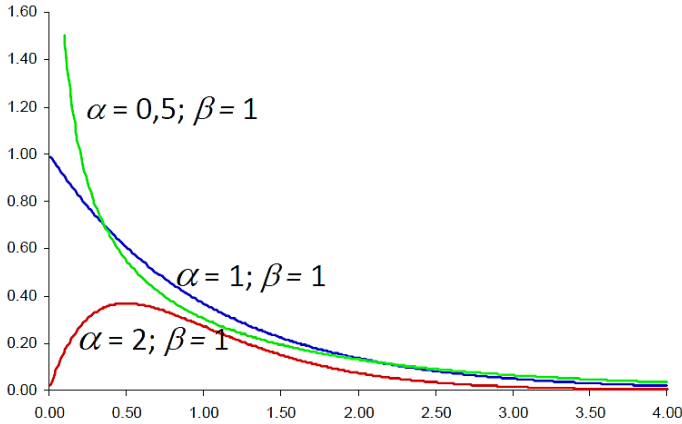
di mana,

μ : Parameter lokasi

σ : Parameter skala

2.4.3 Distribusi Weibull (*Weibull Distribution*)

Pada analisis keandalan, distribusi *weibull* telah digunakan secara luas. Penambahan parameter di dalam distribusi *weibull* dapat merepresentasikan banyaknya *Probability Density Function* (PDF), sehingga distribusi ini dapat digunakan untuk variasi data yang luas. Karakteristik distribusi *weibull* adalah memiliki beberapa parameter pada distribusinya. Distribusi *weibull* tipe 2 memiliki dua parameter, yaitu beta (β) dan eta (η), sedangkan distribusi *weibull* tipe 3 memiliki tiga parameter, yaitu beta (β), eta (η), dan gamma (γ). Penyebaran data yang mengikuti pola distribusi *weibull* diilustrasikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Pola Distribusi *Weibull* [12]

Probability Density Function (PDF) distribusi *weibull* ditunjukkan pada Persamaan 2.9 berikut [7]:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.9)$$

Jika distribusi waktu kegagalan suatu komponen atau unit mengikuti distribusi *weibull*, maka fungsi keandalan distribusi *weibull* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.10 berikut:

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right\} \quad (2.10)$$

di mana,

η : Parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$, disebut sebagai *characteristic life*.

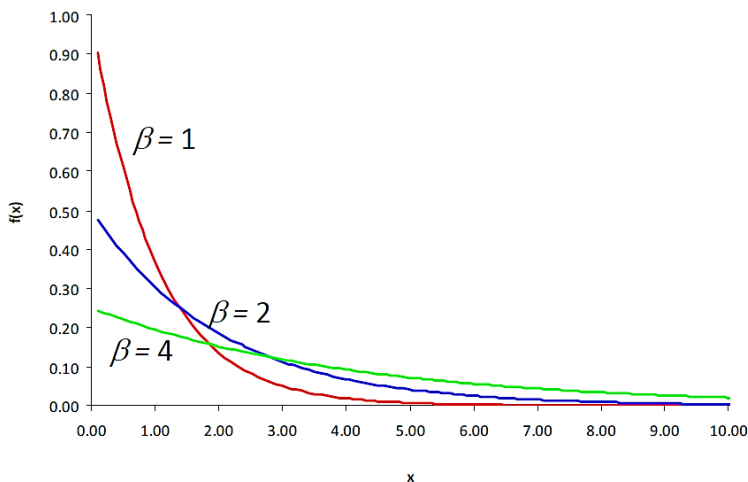
β : Parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$, mendeskripsikan bentuk dari PDF.

γ : Parameter lokasi (*locations parameter*), merepresentasikan *failure-free* atau awal periode dari penggunaan alat. Jika $\gamma=0$ maka distribusi akan berubah menjadi 2 parameter.

2.4.4 Distribusi Eksponensial (*Exponential Distribution*)

Distribusi eksponensial salah satunya digunakan terhadap suatu komponen atau unit dengan jumlah data kegagalan di bawah 5 kali [2]. Pada saat waktu kegagalan dari suatu komponen mengikuti pola distribusi eksponensial, maka laju kegagalannya adalah konstan [8]. Distribusi eksponensial tipe 1 memiliki satu parameter, yaitu lambda (λ), sedangkan distribusi eksponensial tipe 2 memiliki dua parameter, yaitu lambda (λ) dan gamma (γ). Ilustrasi distribusi eksponensial terdapat pada Gambar 2.6. Adapun *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi eksponensial ditunjukkan pada Persamaan 2.11 berikut [7]:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.11)$$



Gambar 2.6 Kurva Pola Distribusi Eksponensial [12]

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi eksponensial, maka fungsi keandalan

distribusi eksponensial dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.12 berikut:

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.12)$$

di mana,

γ : parameter tambahan untuk pola distribusi eksponensial tipe kedua

2.5 Keterawatan (*Maintainability*)

Keterawatan atau *maintainability* $M(t)$ adalah kemampuan suatu komponen yang rusak untuk dapat dirawat maupun diperbaiki, agar kembali seperti keadaan semula dan dalam periode tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintainability* memiliki rumus matematis yang berbeda-beda, bergantung dari distribusi datanya [7].

Persamaan 2.13, Persamaan 2.14, Persamaan 2.15, dan Persamaan 2.16 digunakan untuk menentukan *maintainability* ($M(t)$) berdasarkan jenis distribusinya. Berikut adalah pengklasifikasian keterawatan untuk masing-masing distribusi:

a. Distribusi normal:

$$M(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t-\mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.13)$$

b. Distribusi lognormal:

$$M(t) = \frac{1}{\sigma t\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t-\mu)}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.14)$$

c. Distribusi *weibull*:

$$M(t) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{t-\gamma}{\theta} \right)^\beta \right] \quad (2.15)$$

d. Distribusi eksponensial:

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\text{MTTR}} \right)} \quad (2.16)$$

2.6 Ketersediaan (*Availability*)

Ketersediaan atau *availability* $A(t)$ adalah ketersediaan suatu komponen dalam jangka waktu tertentu. Dengan kata lain, ketersediaan merupakan kemungkinan sebuah komponen untuk menjalankan fungsinya dengan berbagai aspek keandalan, kemampurawatan, serta dukungan pemeliharaan. *Availability* yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.17 berikut [7]:

$$A(t) = \left[\left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left(\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.17)$$

di mana,

λ : *Failure rate* dari waktu antar kegagalan

μ : $1/\text{MTTR}$

t : Waktu

2.7 *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menentukan apa yang seharusnya dilakukan untuk menjamin setiap aset fisik atau sistem dapat berjalan dengan baik sesuai dengan fungsi yang diinginkan penggunaanya. Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) adalah pendekatan *maintenance* yang mengombinasikan praktik dan strategi dari *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, dan *reactive maintenance* untuk memaksimalkan umur pakai (*life time*) beserta fungsi yang diperlukan dari suatu komponen [2]. Implementasi metode ini diharapkan dapat membantu menentukan kebutuhan pemeliharaan semua komponen, serta melakukan analisis untuk memastikan komponen-komponen tersebut dapat melakukan tugasnya tanpa kehilangan fungsinya [11].

Penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dilakukan berdasarkan suatu acuan, yaitu dengan menjawab tujuh

pertanyaan mendasar dari metode RCM mengenai aset atau sistem yang dianalisis, yaitu [5]:

- a. Apa fungsi dan hubungannya dengan standar performansi dari suatu aset dalam konteks operasinya pada saat ini (*system functions*)?
- b. Bagaimana aset tersebut mengalami kegagalan dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
- c. Apa saja yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi aset tersebut (*failure modes*)?
- d. Apa yang terjadi pada setiap kegagalan fungsi yang timbul (*failure effect*)?
- e. Apa saja pengaruh yang ditimbulkan dari kegagalan fungsi tersebut (*failure consequences*)?
- f. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan fungsi tersebut (*proactive task and task interval*)?
- g. Apa yang harus dilakukan apabila tidak ditemukan kegiatan proaktif/pencegahan yang sesuai untuk kegagalan fungsi tersebut (*default action*)?

Jadi, penelitian RCM merupakan suatu penelitian yang sebagian besar bersifat kualitatif dalam rangka menjawab tujuh acuan pertanyaan tersebut. Penerapan metode RCM pada akhirnya perlu dilakukan untuk merumuskan kebijakan *maintenance* yang efektif dan dapat mengurangi *probability of failure*. Panduan untuk penelitian RCM didasarkan pada standar acuan *The RCM Decision Diagram* yang terdapat pada Lampiran D.

2.7.1 System Function and Functional Failure

Langkah pertama pada metode RCM yaitu mendefinisikan fungsi dari setiap unit maupun komponen yang beroperasi di dalam sistem tersebut (*system function*), terkait dengan standar kinerja yang diinginkan. Ekspektasi perusahaan terhadap fungsi yang dapat dilakukan oleh komponen dapat dibagi ke dalam dua kategori [5]:

- a. Fungsi primer, merupakan penjelasan tentang alasan mengapa komponen tersebut sangat penting. Kategori ini mencakup hal-hal utama seperti kecepatan, output dari komponen, akurasi, kapasitas pembawaan, kapasitas penyimpanan, dan kualitas produk.
- b. Fungsi sekunder, merupakan penjelasan tambahan di mana setiap komponen diharapkan dapat melakukan lebih dari fungsi utamanya. Kategori ini mencakup hal-hal seperti keamanan, kenyamanan, aspek ekonomi, pemenuhan standar regulasi lingkungan, efisiensi, dan tampilan dari aset itu sendiri.

Selanjutnya, *functional failure* bertujuan untuk menjelaskan bagaimana sistem tersebut dapat mengalami kegagalan dalam melaksanakan *system function*. Dalam metode RCM, keadaan gagal diartikan sebagai kegagalan dari komponen dalam melakukan fungsinya. Hal tersebut berarti komponen tidak mampu memenuhi fungsi dari standar kinerja yang telah ditentukan perusahaan. Selain ketidakmampuan dalam menjalankan fungsinya, fungsi kegagalan juga meliputi kegagalan parsial, di mana komponen tetap berfungsi tetapi bukan pada performansi yang baik (*bad performance*) dan tingkat akurasi yang lebih rendah. Fungsi kegagalan ini hanya akan dapat diidentifikasi setelah fungsi dan standar kinerja dari komponen sudah ditetapkan. Deskripsi *system function* dan *functional failure* dicontohkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Deskripsi *System Function and Functional Failure* dari *Exhaust System 5 MW Turbine* [5]

<i>System Function</i>		<i>Functional Failure</i>	
1	Untuk menyalurkan semua gas buang panas turbin tanpa pembatasan <i>fixed point</i> 10 meter di atas atap ruangan turbin.	A	Sama sekali tidak dapat menyalurkan gas.
		B	Aliran gas terbatas
		C	Gagal menampung gas
		D	Gagal mengalirkan gas sampai ke titik 10 meter di atas atap

Tabel 2.1 Lanjutan

2	Untuk mengurangi tingkat kebisingan gas buang (<i>exhaust noise level</i>) berdasarkan ISO <i>noise rating</i> 30 pada ketinggian 150 meter	A	Tingkat kebisingan melebihi ISO <i>noise rating</i> 30 pada ketinggian 150 meter
3	Untuk memastikan temperatur saluran permukaan di dalam ruang turbin tidak meningkat melebihi 60° C	A	Temperatur saluran permukaan melebihi 60° C

2.7.2 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu teknik manajemen kegagalan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan suatu aset yang tidak mampu melaksanakan fungsinya sesuai dengan yang diharapkan oleh pengguna. *Failure mode* bertujuan untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi, sedangkan *failure effect* menjelaskan dampak yang diakibatkan apabila *failure mode* telah terjadi. Proses identifikasi terhadap fungsi, *failure mode*, dan *failure effect* sangat penting untuk dilakukan karena dapat menentukan perbaikan performansi suatu aset [5].

Mode kegagalan yang terjadi selanjutnya akan ditelaah, apakah memberikan efek kegagalan pada tingkat lokal, sistem, atau *plant*. Efek kegagalan pada tingkat lokal akan menyebabkan komponen tidak dapat memenuhi fungsinya dengan baik. Efek kegagalan pada tingkat sistem akan menyebabkan fungsi dari sistem terganggu, atau tidak dapat bekerja sama sekali. Sedangkan, efek kegagalan pada tingkat fasilitas atau *plant* akan menyebabkan kegagalan pada fasilitas tersebut [3].

Pada kenyataannya suatu komponen dapat memiliki lebih dari satu kegagalan fungsional yang berpengaruh terhadap kinerja

suatu subsistem maupun sistem secara keseluruhan [3]. Deskripsi *failure mode* dan *failure effect* dicontohkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Deskripsi *Failure Mode and Failure Effect* [5]

<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Effect</i>
1	Kemacetan pada <i>gearbox bearing</i>	Motor berhenti dan alarm berbunyi di <i>control room</i> . Dibutuhkan waktu 3 jam (<i>downtime</i>) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. Persiapan penggantian <i>bearing</i> yang baru dilakukan di <i>workshop</i> .
2	<i>Gear teeth stripped</i>	Motor tidak berhenti tetapi mesin berhenti. Dibutuhkan waktu 3 jam (<i>downtime</i>) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. Persiapan penggantian <i>gear</i> yang baru dilakukan di <i>workshop</i> .
3	<i>Gearbox</i> macet karena kekurangan oli	Motor berhenti dan alarm berbunyi di <i>control room</i> . Dibutuhkan waktu 3 jam (<i>downtime</i>) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. <i>Gearbox</i> yang macet akan dibuang.

2.7.3 *Failure Consequences*

Dalam *Reliability Centered Maintenance* (RCM), konsekuensi kegagalan (*failure consequences*) diklasifikasikan menjadi empat bagian, yaitu [5]:

a. *Hidden Failure Consequences*

Hidden failure consequences merupakan kegagalan yang tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung.

b. *Safety and Environment Consequences*

Safety consequences terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja/manusia lainnya. *Environment consequences* terjadi

apabila kegagalan fungsi berdampak pada kelestarian lingkungan.

c. *Operational Consequences*

Suatu kegagalan dikatakan memiliki konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional (keluaran, kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen atau biaya operasional untuk perbaikan komponen).

d. *Non Operational Consequences*

Bukti kegagalan pada kategori ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.7.4 *Severity Class*

Setiap kegagalan yang terjadi dapat dikategorikan ke dalam salah satu dari keempat *severity class* berikut ini:

a. *Critical Failure*

Kegagalan yang menyebabkan kerugian secara langsung dan menyeluruh terhadap kapabilitas alat dalam menghasilkan output.

b. *Degraded Failure*

Kegagalan yang tidak bersifat kritis, namun dapat menghambat kinerja alat dalam menghasilkan output di beberapa kondisi. Tipe kegagalan ini biasanya terjadi secara bertahap dan lambat laun dapat meningkat menjadi *critical failure*.

c. *Incipient Failure*

Jenis kegagalan ini secara tidak langsung mempengaruhi kinerja alat dalam menghasilkan output. Namun, jika hal ini dibiarkan secara terus-menerus dapat menyebabkan *degraded failure* atau bahkan *critical failure* di masa mendatang.

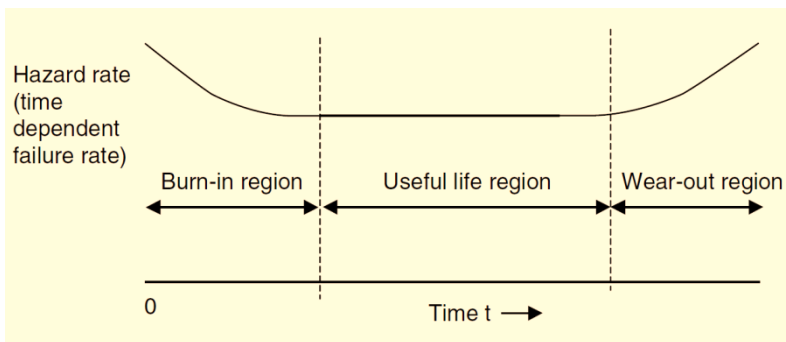
d. *Unknown*

Pada tipe kegagalan ini, tidak ada rekaman tingkat keparahan atau dengan kata lain kegagalan tidak dapat terdeteksi.

2.7.5 *Proactive Task and Initial Interval*

Proactive Task and Initial Interval dilakukan sebelum terjadi kegagalan untuk menghindarkan sistem/komponen dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan. Kegiatan ini biasa dikenal dengan pemeliharaan (*maintenance*).

Bathtub curve, seperti pada Gambar 2.7, adalah salah satu konsep yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan bentuk *maintenance* yang sesuai untuk suatu sistem atau komponen berdasarkan jenis laju kegagalannya yang berubah terhadap waktu. Pada *bathtub curve*, suatu komponen dapat dijelaskan menurut tiga fase utama, yaitu fase *burn-in*, *useful life*, serta *wear-out* [8].



Gambar 2.7 *Bathtub Curve* [8]

Selama fase *burn-in* (yang dikatakan sebagai fase awal dari suatu komponen yang baru diproduksi), laju kegagalan suatu komponen akan menurun, atau disebut *Decreasing Failure Rate* (DFR). Beberapa kegagalan yang terjadi di dalam fase ini antara lain adalah ketidaksempurnaan proses manufaktur, kontrol kualitas yang kurang maksimal, cara *packaging* yang kurang tepat, atau kekurangan proses lainnya. Fase *burn-in* dikenal juga dengan sebutan *debugging region*, *infant mortality region*, atau *break-in region*. Kemudian, selama fase *useful life*, laju kegagalan komponen adalah konstan, atau disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kegagalan yang terjadi pun tidak terprediksi atau acak.

Kegagalan yang mungkin di antaranya cacat komponen yang tidak terdeteksi, penyalahgunaan komponen, faktor keamanan yang rendah, *human errors*, maupun kondisi lingkungan tertentu yang sulit dihindari. Pada akhirnya, di fase *wear-out*, laju kegagalan komponen meningkat atau Increasing Failure Rate (IFR). Kegagalan yang terjadi di antaranya pemeliharaan yang buruk, terjadinya korosi, maupun pemeriksaan (*overhaul*) yang tidak tepat.

Secara umum, jenis-jenis *maintenance* dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. *Reactive Maintenance*

Tindakan yang dilakukan dalam jenis *maintenance* ini adalah membiarkan proses tetap berjalan pada suatu peralatan tertentu sampai peralatan tersebut mengalami kerusakan fungsi. Tidak ada aksi atau tindakan yang diambil untuk mengembalikan peralatan tersebut kedalam *design life*-nya.

b. *Proactive Maintenance*

Tindakan proaktif untuk mencegah terjadinya kegagalan, tindakan ini dibagi mejadi dua. Pertama, *predictive maintenance*, merupakan tindakan proaktif yang dilakukan guna melakukan pencegahan terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan, namun kegiatannya tidak terjadwal secara teratur. Kedua, *preventive maintenance*, merupakan tindakan proaktif atau upaya pemeliharaan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan.

Predictive maintenance mencegah kegagalan peralatan sebelum terjadi kerusakan total. Dalam RCM, *predictive maintenance* dikategorikan ke dalam aktivitas *scheduled on-condition task*, yaitu kegiatan dalam mengecek potensi kegagalan sehingga kegagalan tersebut dapat dicegah untuk menghindarkan pada konsekuensi dari terjadinya kegagalan fungsi. *Scheduled on-condition task* tersebut diimplementasikan pada komponen dengan laju kegagalan konstan, yang artinya berada pada fase *useful life* berdasarkan *bathtub curve*.

Preventive maintenance diimplementasikan pada peralatan yang mengalami fase *wear-out*, yaitu komponen yang laju kegagalannya semakin meningkat atau *Increasing Failure Rate* (IFR). Tujuannya adalah untuk menjaga komponen agar tetap menjalankan fungsinya dengan baik, bahkan dapat membantu komponen tersebut kembali pada fase *usefull life*-nya. Dalam RCM, *preventive maintenance* dikategorikan ke dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task*. *Scheduled restoration task* meliputi jadwal kegiatan secara periodik untuk mengganti komponen yang sudah ada sehingga komponen dapat kembali melakukan fungsi kerjanya secara maksimal dan lebih akurat sebelum mengalami kegagalan fungsi (dalam pelaksanaannya, mesin harus dihentikan). Sementara itu, *scheduled discard task* merupakan kegiatan penggantian komponen dengan komponen yang baru pada interval waktu tertentu tanpa memperhatikan kondisi komponen pada saat itu.

Secara matematis, *preventive maintenance* dirumuskan menurut Persamaan 2.18 sebagai berikut [7]:

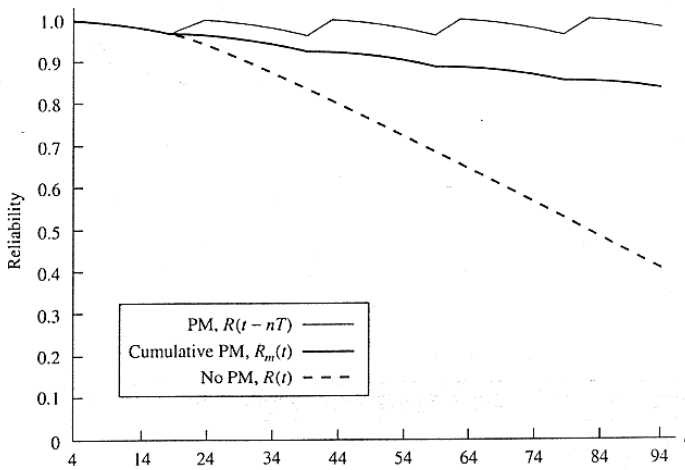
$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \dots \dots \dots (2.18)$$

untuk,
 $nT \leq t < (n+1) t$, dengan $n = 0, 1, 2, \dots$

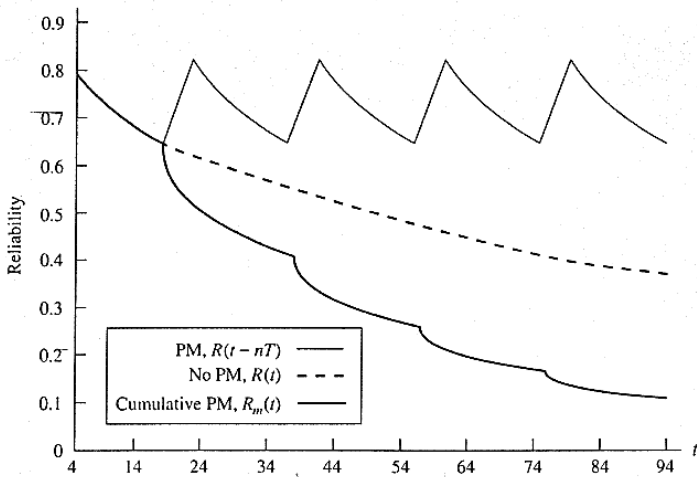
di mana,

- $R_m(t)$: keandalan sistem setelah kegiatan *cumulative preventive maintenance* diimplementasikan
- $R(T)^n$: probabilitas ketahanan sampai dengan *preventive maintenance* ke- n
- $R(t-nT)$: *preventive maintenance*, probabilitas ketahanan selama jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan sebelumnya pada kondisi awal

Implementasi *preventive maintenance* diilustrasikan berdasarkan Gambar 2.8 (a) dan Gambar 2.8 (b) di bawah ini:



(a)



(b)

Gambar 2.8 (a) Implementasi *Preventive Maintenance* untuk Sistem dengan *Increasing Failure Rate* (IFR) dan (b) *Decreasing Failure Rate* (DFR)

2.7.6 *Default Action*

Default action adalah suatu tindakan yang dilakukan jika kondisi sudah berada dalam *failed scale*, dan dipilih ketika tindakan *proactive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan [5]. *Default action* meliputi:

a. *Scheduled Failure Finding*

Scheduled failure finding merupakan kegiatan pengecekan secara periodik terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah *item* tersebut telah mengalami kegagalan fungsi.

b. *Re-design*

Re-design merupakan kegiatan membuat suatu perubahan (modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur) untuk mengembalikan kondisi suatu alat kembali seperti semula.

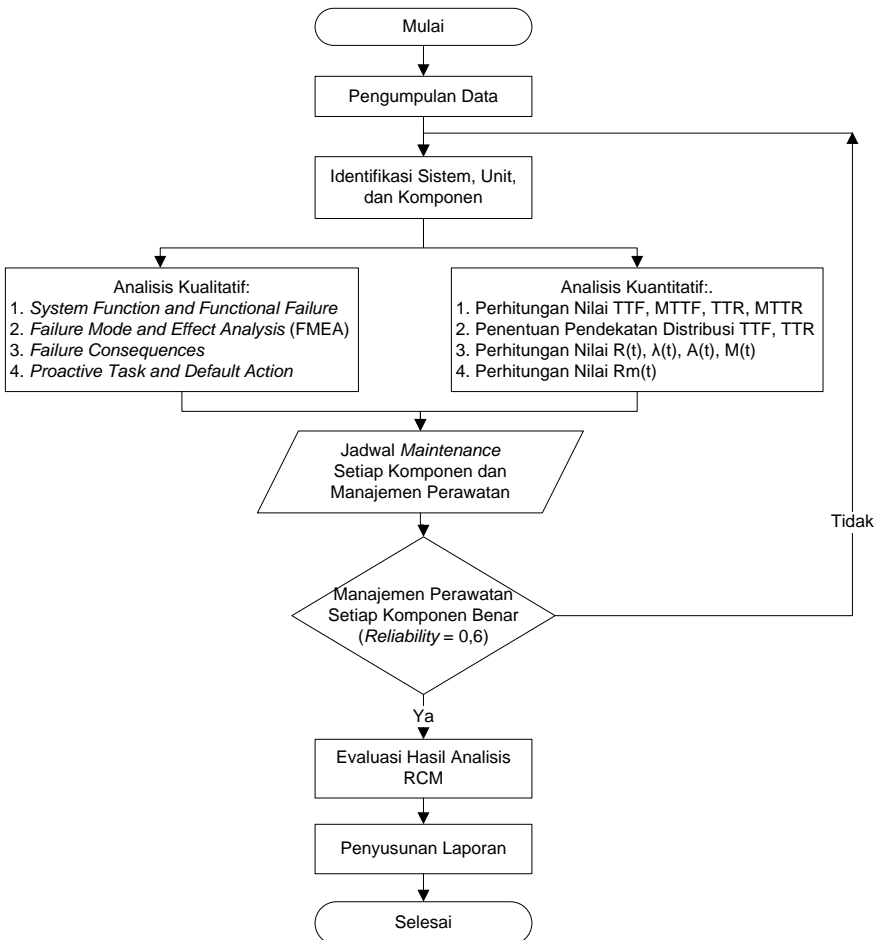
c. *Run to Failure*

Run to failure merupakan kegiatan membiarkan suatu alat beroperasi sampai terjadi kegagalan. Hal ini dilakukan berdasarkan pertimbangan finansial di mana tindakan pencegahan yang dilakukan dinilai tidak menguntungkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

Alur pengerjaan tugas akhir ini secara sistematis ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir

3.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk pengerjaan tugas akhir ini terdiri dari data *Process Flow Diagram* (PFD), *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID), data rekaman pemeliharaan (*maintenance record*) tahun 2008 hingga Maret 2016 per komponen yang ada pada masing-masing unit penyusun sistem *methanator* yang terlampir pada Lampiran C, dan data wawancara dengan *engineer* maupun operator lapangan disertai data *Hazard and Operability Analysis* (HAZOP) yang terlampir pada Lampiran D. Sebagai tambahan informasi, digunakan pula *datasheet* dari unit-unit penyusun sistem. Semua data yang dikumpulkan tersebut sangat berkaitan untuk analisis kualitatif maupun analisis kuantitatif pada metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

Sebagai bentuk pertanggungjawaban, pengesahan kebenaran sumber data terlampir pada lembar validasi data yang terdapat pada Lampiran B.

3.2 Identifikasi Sistem, Unit, dan Komponen

Setelah data lengkap, tahap selanjutnya adalah identifikasi masing-masing unit dan komponen yang menyusun sistem *methanator*. Tahap identifikasi sistem menjadi tahap analisis pertama, di mana tahap ini bertujuan untuk mengetahui fungsi dan prinsip kerja masing-masing unit dan komponen pada sistem, serta bagaimana unit dan komponen tersebut saling berkaitan dan membentuk suatu proses utuh pada sistem.

Penjelasan proses metanasi yang terjadi pada sistem *methanator* telah dijelaskan sebelumnya pada subbab 2.1. Kemudian, dalam hal ini akan dijelaskan setiap unit dan komponen yang menyusun sistem *methanator*, di mana P&ID *Methanator System* terdapat pada Lampiran A.

3.2.1 *Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C*

Unit ini merupakan penukar panas (*exchanger*) yang berfungsi untuk menaikkan temperatur input gas dingin sebelum

bertipe *tubular* untuk fluida kerja gas-gas pada sistem ini juga merupakan tipe yang paling mampu untuk bekerja pada kondisi temperatur yang sangat tinggi. Pada tipe *tubular, exchanger* jenis *shell and tube* melibatkan *tube* (berupa pipa-pipa) sebagai komponen utama yang di dalamnya mengalir salah satu fluida kerja. Fluida kerja yang lainnya mengalir di luar *tube*, yang disebut sebagai *shell*. Jadi, *shell* merupakan suatu ruang berbentuk silinder dengan pipa-pipa *tube* yang berada di dalamnya yang sejajar dengan sumbu *shell*.

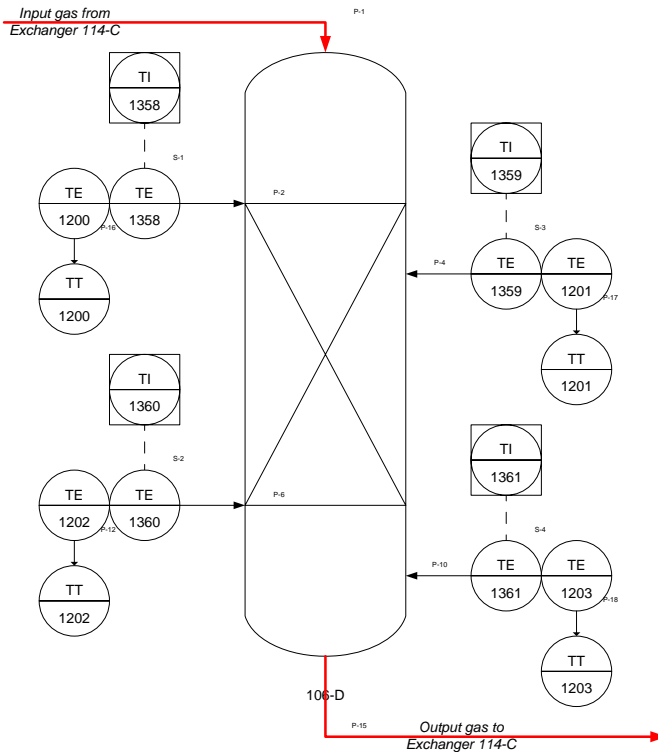
Sistem pengendalian pada unit *Exchanger* 114-C ini terdiri dari pengendalian tekanan (*pressure control*) dan pengendalian temperatur (*temperature control*). Komponen-komponen kritis penyusun unit *Exchanger* 114-C antara lain:

- a. *Pressure Transmitter* (PT) 1005
- b. *Pressure Valve* (PV) 1005
- c. *Temperature Transmitter* (TT) 1012
- d. *Temperature Valve* (TV) 1012

3.2.2 *Methanator* 106-D

Methanator 106-D merupakan suatu tabung reaksi berjenis *contactor vessel* yang berisi katalis Nikel (Ni) dengan fungsi utama untuk mengonversi gas CO dan CO₂ menjadi Metana (CH₄) dan air (proses metanasi telah dijelaskan pada subbab 2.1 sebelumnya). Gambar 3.3 adalah diagram alir dari proses di *Methanator* 106-D.

Dalam proses metanasi di unit *Methanator* 106-D tidak terdapat komponen pengendalian, tetapi hanya terdapat serangkaian *transmitter* yang secara kontinyu memonitor temperatur input (dimulai dari bagian atas *vessel*) hingga menjadi output (bagian *vessel* semakin ke bawah).



Gambar 3.3 Simple PFD Unit *Methanator* 106-D

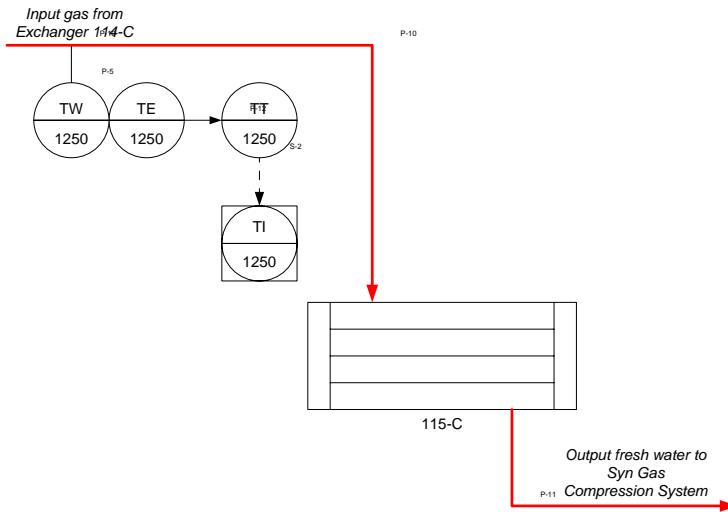
Serangkaian *transmitter* yang secara kontinyu memonitor temperatur input (dimulai dari bagian atas *vessel*) hingga menjadi output (bagian *vessel* semakin ke bawah) secara berurutan sebagai berikut:

- Temperature Transmitter* (TT) 1200
- Temperature Transmitter* (TT) 1201
- Temperature Transmitter* (TT) 1202
- Temperature Transmitter* (TT) 1203

Semakin ke bawah, temperatur fluida kerja akan semakin tinggi. Keluaran proses dari tabung *Methanator* 106-D pada akhirnya adalah sebesar 344°C.

3.2.3 Methanator Effluent Cooler 115-C

Seperti halnya *Exchanger 114-C*, *Methanator Effluent Cooler 115-C* juga termasuk ke dalam jenis *shell and tube exchanger*. Namun, dalam hal ini *Cooler 115-C* secara khusus berfungsi sebagai pendingin output gas dari *Methanator 106-D* sebelum memasuki unit pada sistem selanjutnya (*Syn Gas Compressor Suction Drum 104-F*). Pada unit *Cooler 115-C* ini tidak terdapat komponen pengendalian, tetapi terdapat sebuah komponen pendukung yaitu *Temperature Transmitter (TT) 1250*. Gambar 3.4 adalah diagram alir dari proses di *Cooler 115-C*.



Gambar 3.4 Simple PFD Unit Cooler 115-C

Effluent dari tabung *Methanator 106-D* bersuhu 344°C terlebih dahulu akan didinginkan dengan cara dialirkan pada pipa-pipa *tube* di *Exchanger 114-C*. Setelah itu, pendinginan selanjutnya dilakukan dengan mengalirkan *effluent* pada bagian *shell* dari *Cooler 115-C*. Pada akhirnya, dihasilkanlah fluida kerja dengan temperatur sebesar 37°C yang siap untuk memasuki sistem *syn gas compression*.

3.3 Pengolahan Data Kualitatif

Hasil pengolahan data kualitatif untuk setiap unit/komponen dalam pengerjaan tugas akhir ini disajikan ke dalam dua buah tabel, yaitu tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan tabel *Decision Worksheet* untuk RCM itu sendiri. Tabel 3.1 adalah contoh tabel FMEA dan Tabel 3.2 adalah contoh tabel *Decision Worksheet* dari suatu unit.

Tabel 3.1 Contoh Tabel FMEA pada *Unit Guard Beds Filter* [10]

<i>Failure Modes (FM)</i>		<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>Exteral Leakage – Process Medium (ELU)</i>	<i>Piping, Valves</i>	<i>Leakage Wear</i>	<i>Pressure drop, environmental pollution</i>
2	<i>Plugged/Chocked (PLU)</i>	<i>Amine trap system</i>	<i>Combied cause</i>	<i>Overload (over capacity gas on vessel), hazard potency</i>
3	<i>Structural Deficiency (STD)</i>	<i>Subunit</i>	<i>Mechaical failure-general</i>	<i>Short lifetime, Trip system and Vessel explotion</i>

Tabel 3.2 Contoh *Decision Worksheet* pada *Unit Guard Beds Filter* [10]

FM	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Action Required
					H ₁	H ₁	H ₁				
	H	S	E	O	S ₁	S ₁	S ₁	H4	H5	S4	
					O ₁	O ₁	O ₁				
					N ₁	N ₁	N ₁				
1	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	Incondition
2	Y	Y	N	N	N	Y	N	-	-	-	Scheduled on condition
3	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	Non distructive test

3.3.1 *Failure Cause dan Failure Effect*

Failure cause dan *failure effect* merupakan langkah pengerjaan yang pertama kali dilakukan. Kedua hal tersebut didapatkan dari data *Hazard and Operability Analysis* (HAZOP) maupun dari hasil wawancara langsung dengan pihak operator lapangan. Hasil wawancara dengan operator lapangan dan *engineer* di PT. Petrokimia Gresik terdapat pada Lampiran D.

Failure cause berarti penyebab dari suatu kegagalan yang terjadi, sedangkan *failure effect* berarti penjelasan dari kegagalan itu sendiri yang merupakan dampak/akibat yang ditimbulkan dari suatu sebab (*cause*). Dari tabel data mentah HAZOP, *failure cause* didapatkan dari bagian *deviation* dan *cause*, sedangkan *failure effect* didapatkan dari bagian *consequences*. Tabel 3.3 adalah contoh data tabel HAZOP dari dokumen proses di PT. Petrokimia Gresik.

Tabel 3.3 Contoh Data HAZOP pada *Sistem Primary Reformer Section* [1]

<i>Ref</i>	<i>Deviation</i>	<i>Cause</i>	<i>Consequences</i>	<i>Safeguards</i>
<i>Primary Reformer Section – Process Stream</i>				
3-1	No Flow of Natural Gas	FV-1001 fails closed or MOV 1010 is closed (D-11-1225-212)	101-B tubes skin temperature and coil temperature increase but no mechanical damage as steam is flowing	TI-1314; TI-1315; TI-1318; TI-1313; FAL-1001 (Set: 17555 kg/hr); FALL-1201 (Set: 14636 kg/h)
3-2	No Flow of Natural Gas	FV-1001 fails closed or MOV 1010 is closed (D-11-1225-212)	Potential tube rupture in 101-BCF	TAH-1307 (Set: 470 C) (D-11-1225-212); FAL-1001 (Set: 17555 kg/hr); FALL-1201 (Set : 14636 kg/h)

3.3.2 *Failure Mode (FM)*

Mode kegagalan atau *Failure Mode* (FM) merupakan pengklasifikasian jenis kegagalan yang dalam pengerjaan tugas akhir ini mengacu pada referensi *Offshore Reliability Data* (OREDA) *Handbook*. Berdasarkan OREDA, Tabel 3.4 berikut adalah klasifikasi jenis *Failure Mode* (FM) yang dibutuhkan untuk mengidentifikasi komponen/unit yang menyusun sistem *methanator*.

Tabel 3.4 Referensi Jenis *Failure Mode* (FM) yang Biasa Terjadi pada Komponen/Unit Penyusun Sistem *Methanator* [9]

No.	<i>Failure Mode</i> (FM)	<i>Heat Exchanger</i> <i>Type Shell and Tube</i>		<i>Vessel</i> <i>Type</i> <i>Contactactor</i>	<i>Valve</i> <i>Type</i> <i>Globe</i>
		<i>Gas to Gas</i>	<i>Gas to Fresh Water</i>		
1	AIR	✓	✓	✓	✓
2	ELP	✓		✓	✓
3	ELU	✓	✓	✓	
4	IHT	✓			
5	INL	✓			
6	SER	✓	✓	✓	✓
7	OTH	✓		✓	✓
8	PDE	✓	✓	✓	
9	PLU	✓	✓		✓
10	STD	✓	✓	✓	
11	UNK	✓			
12	FTC				✓
13	FTO				✓
14	FTR				✓
15	SPO				✓
16	LCP				✓
17	DOP				✓
18	HIO				✓
19	LOO				✓

Penjelasan dari masing-masing *Failure Mode* (FM) pada Tabel 3.4 berdasarkan referensi dari OREDA adalah sebagai berikut:

- a. *Abnormal Instrument Reading* (AIR), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh pembacaan instrumen yang tidak normal.
- b. *External Leakage-Process Medium* (ELP), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh kebocoran akibat pengaruh eksternal pada proses.
- c. *External Leakage-Utility Medium* (ELU), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh kebocoran akibat pengaruh eksternal pada utilitas.
- d. *Insufficient Heat Transfer* (IHT), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh *heat exchanger* yang tidak berhasil menukarkan panas secara sempurna akibat kurangnya *supply* panas yang ada untuk proses.
- e. *Internal Leakage* (INL), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh kebocoran bagian internal pada *heat exchanger*.
- f. *Minor In-Service Problems* (SER), adalah mode kegagalan yang tidak diketahui/tidak disengaja pada saat melakukan perbaikan/pemasangan.
- g. *Other* (OTH), adalah mode kegagalan lain yang mungkin terjadi.
- h. *Parameter Deviation* (PDE), adalah mode kegagalan yang terjadi akibat terjadinya suatu penyimpangan dari suatu besaran fisis/parameter tertentu.
- i. *Plugged/Choked* (PLU), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh komponen yang mengalami penyumbatan atau buntu.
- j. *Structural Deficiency* (STD), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh penyimpangan desain struktural.
- k. *Unknown* (UNK), adalah mode kegagalan yang tidak secara pasti diketahui sebabnya.
- l. *Fail To Close On Demand* (FTC), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh *valve* yang tidak bisa menutup.

- m. *Fail To Open On Demand* (FTO), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh *valve* yang tidak bisa membuka.
- n. *Fail To Regulate* (FTR), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh gagalnya alat untuk membuka atau menutup sesuai dengan instruksi dari *controller*.
- o. *Spurious Operation* (SPO), adalah mode kegagalan yang diakibatkan oleh pengoperasian palsu.
- p. *Valve Leakage In Closed Position* (LCP), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh kegagalan *valve* dalam menutup sehingga fluida masih bisa mengalir meskipun *valve* sudah menutup (biasa disebut *passing*).
- q. *Delayed Operation* (DOP), adalah mode kegagalan yang disebabkan oleh keterlambatan *valve* dalam memberikan respon.
- r. *High Output* (HIO), adalah mode kegagalan dengan output yang terlalu tinggi.
- s. *Low Output* (LOO), adalah mode kegagalan dengan output yang terlalu rendah.

3.3.3 *Maintainable Item*

Maintainable item merupakan kolom yang berisi rekomendasi bagian-bagian komponen apa saja yang dapat di-*maintain* dari suatu kegagalan yang ada. Penentuan *maintainable item* juga menggunakan referensi dari OREDA, di mana pada OREDA terdapat tabel *maintainable item* untuk setiap jenis mode kegagalan pada suatu komponen/unit. Cara menentukan bagian-bagian yang dapat di-*maintain* adalah dengan melihat nilai-nilai persentase *total failure rate* dari *maintainable item* aktual yang terdapat pada tabel. Tabel 3.5 adalah contoh tabel *maintainable item* untuk *heat exchanger* bertipe *shell and tube*.

Pembacaan Tabel 3.5 dapat dicontohkan seperti berikut. Apabila suatu *shell and tube exchanger* memiliki mode kegagalan *External Leakage-Utility Medium* (ELU), maka diambil bagian-bagian yang memiliki nilai pada kolom ELU. Dari tabel, dapat diketahui bahwa *maintainable item* dari kasus ini adalah *pressure instrument*, *temperature instrument*, *seals (gaskets)*, dan *valves*, di

mana masing-masing secara berurutan memiliki nilai persentase 1,39; 1,39; 1,39; dan 4,17.

Tabel 3.5 *Maintainable Item* untuk *Shell and Tube Exchanger* [9]

	AIR	ELP	ELU	IHT	INL	OTH
<i>Body/shell</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39
<i>Instrument, flow</i>	4.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Instrument, level</i>	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Instrument, pressure</i>	4.17	0.00	1.39	0.00	0.00	0.00
<i>Instrument, temperature</i>	8.33	0.00	1.39	0.00	0.00	0.00
<i>Other</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Piping</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Seals (gasket)</i>	0.00	0.00	1.39	0.00	0.00	0.00
<i>Subunit</i>	0.00	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Support</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Tubes</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Unknown</i>	0.00	1.39	0.00	0.00	0.00	1.39
<i>Valves</i>	2.78	11.11	4.17	0.00	0.00	0.00
<i>Total</i>	20.83	13.89	8.33	0.00	0.00	2.78

3.3.4 *Decision Worksheet*

Penentuan *evaluation consequence*, *proactive task*, maupun *default action*, secara kesatuan ditentukan berdasarkan langkah-langkah yang mengacu pada *The RCM II Decision Diagram* yang terlampir pada Lampiran E. Langkah-langkah evaluasi tersebut juga secara sistematis menjadi panduan pada saat wawancara untuk mengumpulkan data.

Dari suatu kegagalan secara sistematis akan diketahui jenis *failure consequence*-nya, apakah berpengaruh terhadap *Safety* (S), *Environment* (E), dan/atau terhadap *Operational* (O) (penjelasan *failure consequence* telah dijelaskan pada subbab 2.7.3). Adapun bila kegagalan tidak secara pasti diketahui pengaruhnya, maka dapat pula diklasifikasikan pada jenis *Hidden* (H). Pengaruh-

pengaruh yang dihasilkan akibat kegagalan tersebut ditandai dengan pembubuhan kode *Yes* (Y) jika ada dan *No* (N) jika tidak ada.

Setelah itu, bagian selanjutnya adalah *proactive task*, di mana dalam hal ini kode *Yes* (Y) atau *No* (N) adalah jawaban untuk pertanyaan-pertanyaan berikut:

- a. N1 : Apakah suatu *task* perlu dilakukan untuk mendeteksi kegagalan yang terjadi atau yang akan terjadi?
- b. N2 : Apakah *scheduled restoration task* akan efektif dilakukan untuk mengurangi laju kegagalan?
- c. N3 : Apakah *scheduled discard task* akan efektif dilakukan untuk mengurangi laju kegagalan?

Kemudian, *default action* ditentukan dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

- a. H4 : Apakah semua langkah pencarian jenis *task* yang paling efektif untuk suatu kegagalan telah tepat dilakukan?
- b. H5 : Dapatkah suatu kejadian yang mengandung lebih dari satu kegagalan mempengaruhi keamanan (*safety*) dan lingkungan (*environment*)?
- c. S4 : Apakah kombinasi dari berbagai *task* akan efektif dilakukan untuk menghindari kegagalan?

Pada akhirnya, *action required* merupakan kolom yang berisi tindakan-tindakan yang diperlukan dan bersifat efektif untuk kegagalan yang terjadi, yang berkaitan dengan *failure consequences*, *proactive task*, dan *default action*.

3.4 Pengolahan Data Kuantitatif

Data kuantitatif bersumber dari data rekaman pemeliharaan (*maintenance record*) tahun 2008-2016. Data mentah dari *maintenance record* tersebut dipilah terlebih dahulu menurut komponen dan unit penyusun sistemnya dengan cara mengklasifikasikan data menurut *tag number* yang terdapat pada bagian *object* ID-nya. Setelah itu, penjelasan petunjuk tindakan

(*direction*) dan penjelasan tindakan yang telah dilakukan oleh operator (*work done*) ditelaah untuk memilah kembali data yang akan disertakan untuk perhitungan kuantitatif. Pemilahan data tersebut didasarkan pada kegagalan (*failure*) dan tindakan perbaikan (*repair*).

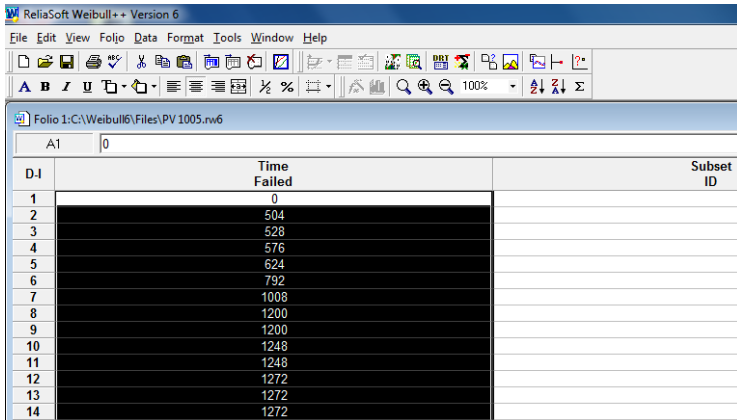
3.4.1 TTF, MTTF, TTR, dan MTTR

Pengolahan data pada dasarnya dilakukan pada Ms. Excell. Pemilahan data yang telah dilakukan sebelumnya kemudian dilanjutkan dengan pengubahan format data waktu menurut standar format tanggal internasional. Setelah itu, data waktu di-sort menurut tanggal terdahulu hingga tanggal terbaru (*from oldest to newest*).

Nilai TTF dan TTR kemudian dapat dihitung. *Time To Failure* (TTF) didefinisikan sebagai waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan, sedangkan *Time To Repair* (TTR) didefinisikan sebagai waktu perbaikan yang diperlukan oleh komponen agar dapat berfungsi kembali. Nilai TTR yang berarti waktu perbaikan didapatkan dalam bentuk jam, sedangkan nilai TTF harus dikonversi terlebih dahulu ke dalam bentuk jam dengan cara mengalikannya dengan 24 (*hours*), karena data mentah *maintenance record* dari PT. Petrokimia Gresik masih berupa hari. Setelah itu, nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR) dapat ditentukan menggunakan fungsi AVERAGE pada Ms. Excell.

3.4.2 Pendekatan Distribusi TTF dan TTR

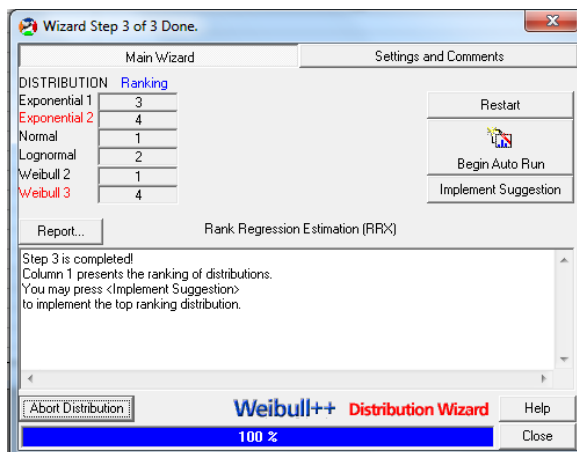
Distribusi laju kegagalan atau *failure rate distribution* didapatkan berdasarkan data *Time To Repair* (TTR) dan *Time To Failure* (TTF) yang telah dikonversikan dalam bentuk jam. Pendekatan distribusi data untuk TTF maupun TTR didapatkan dengan menggunakan *software Reliasoft Weibull ++*. Data TTF maupun TTR mula-mula dimasukkan ke dalam *worksheet* seperti pada Gambar 3.5 berikut:



D-1	Time Failed	Subset ID
1	0	
2	504	
3	528	
4	576	
5	624	
6	792	
7	1008	
8	1200	
9	1200	
10	1248	
11	1248	
12	1272	
13	1272	
14	1272	

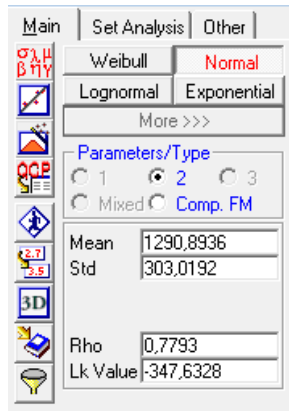
Gambar 3.5 Tampilan Input Data pada *Worksheet Reliasoft Weibull ++*

Kemudian, setelah *icon Begin Auto Run* diklik, *ranking* pada bagian *distribution* akan muncul, di mana dalam hal ini ditunjukkan urutan distribusi yang paling cocok hingga yang paling tidak cocok untuk data yang telah diproses.



Gambar 3.6 Tampilan *Distribution Ranking* untuk Setiap Distribusi pada *software Reliasoft Weibull ++*

Berdasarkan contoh pada Gambar 3.6, diketahui bahwa sebaran data yang diproses memiliki kecenderungan pola distribusi normal yang berada di peringkat pertama. Kemudian, *icon Implement Suggestion* di-klik untuk mendapatkan nilai-nilai dari setiap parameter distribusinya, seperti pada Gambar 3.7 berikut:



Gambar 3.7 Tampilan Parameter-parameter Distribusi

Berdasarkan Gambar 3.7, didapatkan parameter rata-rata (*Mean*) sebesar 1290,8936 dan standar deviasi (*Std*) sebesar 303,0192 untuk distribusi normal dari data yang telah diolah. Parameter-parameter tersebut kemudian dimasukkan ke dalam pengolahan data di Ms. Excell untuk mendapatkan nilai *reliability*, *availability*, *maintainability*, *failure rate*, dan *preventive maintenance*.

3.4.3 Implementasi $R(t)$, $A(t)$, dan $\lambda(t)$

Nilai keandalan atau *reliability* $R(t)$ dan ketersediaan atau *availability* $A(t)$ dihitung berdasarkan parameter-parameter data TTF. Keandalan dari suatu komponen/unit dihitung berdasarkan Persamaan 2.6 untuk distribusi normal, Persamaan 2.8 untuk distribusi lognormal, Persamaan 2.10 untuk distribusi *weibull*, atau Persamaan 2.12 untuk distribusi eksponensial, seperti yang

telah dijelaskan pada subbab 2.4. Sementara itu, ketersediaan dari suatu komponen/unit dihitung berdasarkan Persamaan 2.17 untuk semua jenis distribusi, seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.6.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan fungsi-fungsi pada Ms. Excell pada implementasi rumus-rumus matematisnya. Dalam hal ini, waktu (jam) divariasikan menurut interval waktu tertentu (sekian jam sekali) yang disesuaikan dengan kebutuhan pembacaan data. Dari variasi waktu tersebut, dapat dilihat $R(t)$ dan $A(t)$ pada setiap penambahan waktu. Hasil yang didapatkan kemudian di-plot dalam bentuk grafik *reliability* dan *availability*.

Kemudian, nilai laju kegagalan atau *failure rate* $\lambda(t)$ juga dihitung berdasarkan data TTF. $\lambda(t)$ didapatkan berdasarkan rasio antara $f(t)$ dan $R(t)$ seperti pada Persamaan 2.3. *Probability Density Function* (PDF) atau $f(t)$ dihitung berdasarkan jenis distribusinya, di mana digunakan Persamaan 2.5 untuk distribusi normal, Persamaan 2.7 untuk distribusi lognormal, Persamaan 2.9 untuk distribusi *weibull*, atau Persamaan 2.11 untuk distribusi eksponensial, seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.4. Laju kegagalan atau *failure rate* $\lambda(t)$ ini juga dibuat ke dalam grafik, di mana dalam hal ini evaluasi laju kegagalan bertujuan untuk mengetahui jenis *maintenance* yang paling optimal untuk suatu unit/komponen, apakah itu *scheduled on-condition task* atau *scheduled restoration task*, atau ternyata tidak memerlukan perawatan atau disebut *no schedule maintenance*.

3.4.4 Implementasi $M(t)$

Nilai keterawatan atau *maintainability* $M(t)$ dihitung berdasarkan parameter-parameter data TTR. Keterawatan dari suatu komponen/unit tersebut dihitung berdasarkan Persamaan 2.13 untuk distribusi normal, Persamaan 2.14 untuk distribusi lognormal, Persamaan 2.15 untuk distribusi *weibull*, atau Persamaan 2.16 untuk distribusi eksponensial, seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.5.

Seperti halnya $R(t)$ dan $A(t)$, cara pengolahan data untuk $M(t)$ pun sama, di mana dari variasi waktu penambahan setiap sekian jam sekali, didapatkan nilai-nilai *maintainability* yang juga disajikan dalam bentuk grafik.

3.4.5 Evaluasi Keandalan dengan *Preventive Maintenance*

Evaluasi pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui keandalan unit/komponen setelah *preventive maintenance* diterapkan, di mana evaluasi ini digunakan untuk mengetahui jenis perawatan dan interval waktu perawatan yang paling optimal. Dalam hal ini, digunakan acuan waktu yang didasarkan pada saat nilai $R(t)$ dari komponen telah mencapai 0,6 (diambil yang paling mendekati 0,6). Adapun nilai 0,6 merupakan nilai acuan yang dijadikan standar perusahaan, di mana pada PT. Petrokimia Gresik setiap unit/komponen akan di-*maintain* sebelum $R(t)$ mencapai 0,6. Pernyataan mengenai nilai acuan tersebut terdapat pada lembar validasi data di Lampiran B.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif pada masing-masing komponen/unit penyusun sistem *methanator* adalah berupa penjelasan fungsi (*system function*) yang diikuti dengan hasil pengolahan data yang disajikan dalam tabel FMEA dan tabel *decision worksheet*.

4.1.1 Pressure Valve (PV) 1005

Fungsi dari *Pressure Valve* (PV) 1005 ini adalah untuk menjaga agar tekanan input yang akan masuk ke unit *Methanator* 106-D sebesar 31,6 kg/cm². PV-1005 ini adalah jenis aktuator pada sistem instrumentasi berjenis *globe valve*, yang bekerja berdasarkan sinyal dari PT-1005 atas perintah dari pengendali (*controller*) PIC-1005. Tabel 4.1 menunjukkan hasil FMEA dari PV-1005.

Tabel 4.1 FMEA *Pressure Valve* (PV) 1005

<i>Failure Modes (FM)</i>	<i>Maitainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1 Valve Leakage in Closed Position (LCP)	Packing, Seat rings, Subunit, Unknown	PV-1005 tidak tertutup secara sempurna	Gas input terbuang sia-sia
2 Fail To Close on Demand (FTC)	Indicator, Other valve components, Packing, Pistons, Positioner, Seals, Seat rings, Subunit, Valve body	Tidak adanya flow gas input ke <i>Methanator</i> 106-D akibat MOV-1011 tertutup atau XV-1211 gagal untuk menutup	Tekanan upstream yang menjadi lebih tinggi pada <i>valve</i>

Tabel 4.1 Lanjutan

<i>Failure Modes (FM)</i>		<i>Maitainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
3	<i>Fail To Regulate (FTR)</i>	<i>Diaphragm, Gear, Indicator, Monitoring, Pistons, Positioner, Seals, Spring, Stem, Subunit, Valve body</i>	Flow gas input ke <i>Methanator</i> 106-D terlalu rendah karena PV-1005 terbuka secara lebar	Kerusakan pada kompresor
4	<i>Fail To Open on Demand (FTO)</i>	<i>Actuating device, Control unit, Diaphragm, Pistons, Positioner, Spring, Subunit</i>	Tekanan gas input teralu tinggi yang diakibatkan oleh PV-1005 yang tidak dapat terbuka pada saat dibutuhkan	Tekanan yang berlebihan pada pipa input ke <i>Methanator</i> 106-D

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang terjadi pada komponen PV-1005 tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada *decision worksheet* menurut Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 *Decision Worksheet* untuk *Pressure Valve* (PV) 1005

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H _I	H _I	H _I				
	H	S	E	O	S ₁ O ₁ N ₁	S ₁ O ₁ N ₁	S ₁ O ₁ N ₁	H4	H5	S4	
1	Y	N	Y	-	Y	-	-	-	-	-	<i>On-condition</i>
2	Y	N	N	Y	N	Y	-	-	-	-	<i>Restoration</i>
3	N	-	-	-	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard task</i>
4	Y	Y	-	-	N	Y	-	-	-	-	<i>Restoration</i>

4.1.2 Pressure Transmitter (PT) 1005

Pressure Transmitter (PT) 1005 merupakan suatu komponen instrumentasi yang mendukung proses pengendalian tekanan bersama PV-1005, sebelum input memasuki sistem pertukaran panas di *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C. PT-1005 ini berfungsi untuk memberikan sinyal kepada PV-1005 atas perintah dari pengendali (*controller*) PIC-1005. Tabel 4.3 menunjukkan hasil FMEA dari PT-1005.

Tabel 4.3 FMEA *Pressure Transmitter* (PT) 1005

<i>Failure Modes (FM)</i>		<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>External Leakage-Utility Medium (ELU)</i>	<i>Instruments, seals</i>	Terdapat pergeseran <i>plug/baut</i>	Terjadi kebocoran pada bagian <i>tube</i>

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang terjadi pada komponen PT-1005 tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada *decision worksheet* menurut Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 *Decision Worksheet Pressure Transmitter* (PT) 1005

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H ₁	H ₁	H ₁				
	H	S	E	O	S ₁	S ₁	S ₁				
					O ₁	O ₁	O ₁	H4	H5	S4	
					N ₁	N ₁	N ₁				
1	Y	N	Y	-	Y	-	-	-	-	-	<i>On-condition</i>

4.1.3 Temperature Valve (TV) 1012

Fungsi dari *Temperature Valve* (TV) 1012 ini adalah untuk menjaga agar temperatur inlet sebesar 285°C. TV-1012 ini adalah

jenis aktuator pada sistem instrumentasi berjenis *pneumatic globe valve*, yang bekerja berdasarkan sinyal dari TT-1012 atas perintah dari pengendali (*controller*) TIC-1012. Tabel 4.5 menunjukkan FMEA dari TV-1012.

Tabel 4.5 FMEA *Temperature Valve* (TV) 1012

Failure Modes (FM)		Maintainable Item	Failure Causes	Failure Effect
1	<i>Fail To Close on Demand (FTC)</i>	<i>Closure member, Indicator, Other valve components, Packing, Pistons, Positioner, Seals, Seat rings, Subunit, Valve body</i>	TV-1012 gagal menutup	Temperatur gas input pada 172-C1 inlet atau 106-D meningkat sehingga dimungkinkan terjadinya kerusakan mekanik
2	<i>Fail To Regulate (FTR)</i>	<i>Actuating device, Control unit, Diaphragm, Gear, Indicator, Internal power supply, Monitoring, Other valve components, Pistons, Positioner, Seals, Spring, Stem, Subunit, Unknown, Valve body</i>	Temperatur gas input lebih rendah pada 172-C1 inlet yang diakibatkan TV-1012 terbuka secara lebar	Potensi terjadinya CO/CO ₂ masuk ke dalam <i>methanator</i> akibat temperatur input yang kurang

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang terjadi pada komponen TV-1012 tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada *decision worksheet* menurut Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 *Decision Worksheet Temperature Valve (TV) 1012*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H ₁	H ₁	H ₁				
	H	S	E	O	S ₁ O ₁ N ₁	S ₁ O ₁ N ₁	S ₁ O ₁ N ₁	H4	H5	S4	
1	Y	N	N	Y	N	Y	-	-	-	-	<i>Restoration</i>
2	N	-	-	-	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard task</i>

4.1.4 Temperature Transmitter (TT) 1012

Temperature Transmitter (TT) 1012 merupakan suatu komponen instrumentasi yang mendukung proses pengendalian temperatur bersama TV-1012, sebelum input memasuki sistem pertukaran panas di *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C. TT-1012 ini berfungsi untuk memberikan sinyal kepada TV-1012 atas perintah dari pengendali (*controller*) TIC-1012. Tabel 4.7 menunjukkan hasil FMEA dari TT-1012.

Tabel 4.7 *FMEA Temperature Transmitter (TT) 1012*

<i>Failure Modes (FM)</i>		<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>Plugged/ Choked (PLU)</i>	<i>Instruments, seals</i>	Debu pada fluida kerja menyebabkan penyumbatan serta membran yang sudah kaku	Terdapat kebuntuan pada tekanan <i>upper</i>

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang terjadi pada komponen TT-1012 tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada *decision worksheet* menurut Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8 *Decision Worksheet Temperature Transmitter (TT)*
1012

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H ₁	H ₁	H ₁				
					S ₁	S ₁	S ₁				
	H	S	E	O	O ₁	O ₁	O ₁	H4	H5	S4	
1	Y	N	Y	-	N ₁	N ₁	N ₁	-	-	-	<i>On-condition</i>

4.1.5 Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C

Fungsi dari *Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C* adalah sebagai penukar panas (*exchanger*) yang berfungsi untuk menaikkan temperatur input gas dingin sebelum memasuki tabung *Methanator 106-D* dengan cara menukar panas (transfer energi panas) dengan output gas panas dari tabung *Methanator 106-D*. Panas yang ditransfer ke input gas dingin tersebut akan menurunkan temperatur output gas panas yang akan memasuki unit *Methanator Effluent Cooler 115-C*. Tabel 4.9 menunjukkan hasil FMEA dari *Exchanger 114-C*.

Tabel 4.9 *FMEA Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C*

<i>Failure Modes (FM)</i>		<i>Maitainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>Internal Leakage (INL)</i>	<i>Piping, Plates, Valves</i>	Arah aliran (<i>flow</i>) yang melawan arah karena kegagalan <i>tube</i> pada 114-C akibat kebocoran <i>tube</i> sehingga fluida kerja dari <i>tube</i> dan <i>shell</i> bercampur	CO/CO ₂ yang masuk ke dalam <i>methanator</i> menjadi lebih banyak dan menambah beban pada 109-DA/DB, berpotensi mengurangi performa katalis di 105-D

Tabel 4.9 Lanjutan

<i>Failure Modes (FM)</i>	<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
2 <i>Insufficient Heat Transfer (IHT)</i>	<i>Control unit, fan with motor</i>	Temperatur gas input pada 172-C1 inlet menurun	Temperatur pada 114-C bagian fluida dingin menjadi meningkat, perpipaannya 115 C1/C2 dan 115-C1/C2 berpotensi untuk mengalami kerusakan

Tindakan-tindakan yang tepat dilakukan untuk mencegah kegagalan-kegagalan yang terjadi pada komponen *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C tersebut dirumuskan pada *decision worksheet* menurut Tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 *Decision Worksheet* untuk *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H ₁	H ₁	H ₁				
	H	S	E	O	S ₁	S ₁	S ₁				
					O ₁	O ₁	O ₁	H4	H5	S4	
					N ₁	N ₁	N ₁				
1	Y	N	Y	-	Y	-	-	-	-	-	<i>On-condition</i>
2	N	-	-	-	N	N	Y	Y	-	-	<i>Discard task</i>

4.1.6 *Methanator* 106-D

Fungsi dari tabung *Methanator* 106-D adalah untuk mengonversi gas CO dan CO₂ menjadi Metana (CH₄) dan air (proses metanasi telah dijelaskan pada subbab 2.1 sebelumnya). Dalam proses metanasi di unit *Methanator* 106-D tidak terdapat komponen pengendalian, tetapi hanya terdapat serangkaian

transmitter yang dengan kontinyu memonitor temperatur input. Tabel 4.11 menunjukkan hasil FMEA dari *Methanator* 106-D.

Tabel 4.11 FMEA *Methanator* 106-D

<i>Failure Modes (FM)</i>	<i>Maitainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1 <i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	<i>Valve, instruments, control unit, heater, monitoring</i>	Aliran berlebih pada gas sintesis yang melewati 106-D karena PV-1004 terbuka secara lebar	Perbedaan tekanan yang tinggi pada 106-D
2 <i>Abnormal Instrument Reading (AIR)</i>	<i>Valve, instruments, control unit, heater, monitoring</i>	Kurangnya aliran gas input menuju <i>methanator</i>	Katalis berpotensi meningkat pada 106-D akibat pengaruh aliran (<i>flow</i>) yang melawan arah
3 <i>Parameter Deviation (PDE)</i>	<i>Instruments</i>	Tingginya temperatur pada <i>methanator outlet</i> dan tingginya kadar CO ₂ /CO pada gas input yang menuju 106-D	Temperatur akan semakin meningkat akibat reaksi yang berlebih, serta menimbulkan potensi kerusakan mekanis pada 114-C

Tindakan-tindakan yang tepat dilakukan untuk mencegah kegagalan-kegagalan yang terjadi pada komponen *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C tersebut dirumuskan pada *decision worksheet* menurut Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4.12 *Decision Worksheet* untuk *Methanator* 106-D

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H ₁	H ₁	H ₁				
					S ₁	S ₁	S ₁				
	H	S	E	O	O ₁	O ₁	O ₁	H4	H5	S4	
1	Y	Y	-	-	Y	-	-	-	-	-	<i>On-condition</i>
2	N	-	-	-	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard task</i>
3	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard task</i>

4.1.7 *Methanator Effluent Cooler* 115-C

Fungsi dari *Methanator Effluent Cooler* 115-C adalah sebagai pendingin ulang fluida kerja, di mana *effluent* dari tabung *Methanator* 106-D bersuhu 344⁰C terlebih dahulu akan didinginkan dengan cara dialirkan pada pipa-pipa *tube* di *Exchanger* 114-C. Setelah itu, pendinginan selanjutnya dilakukan dengan mengalirkan *effluent* pada bagian *shell* dari *Cooler* 115-C. Pada akhirnya, dihasilkanlah fluida kerja dengan temperatur sebesar 37⁰C yang siap untuk memasuki sistem *syn gas compression*. Tabel 4.13 menunjukkan hasil FMEA dari *Methanator Effluent Cooler* 115-C.

Tabel 4.13 FMEA *Methanator Effluent Cooler* 115-C

<i>Failure Modes (FM)</i>		<i>Maintainable Item</i>	<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>External Leakage-Utility Medium (ELU)</i>	<i>Instruments, seals, valves</i>	Arah aliran (<i>flow</i>) yang melawan arah karena kegagalan <i>tube</i> pada 115-C1/C2	Gas proses mengalami kebocoran pada sisi CW yang menyebabkan tekanan yang berlebihan

Tindakan-tindakan yang tepat dilakukan untuk mencegah kegagalan-kegagalan yang terjadi pada komponen *Methanator Effluent Exchanger* 115-C tersebut dirumuskan pada *decision worksheet* menurut Tabel 4.14 berikut:

Tabel 4.14 *Decision Worksheet* untuk *Methanator Effluent Cooler* 115-C

FM	<i>Consequence Evaluation</i>					<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
						H _I	H _I	H _I				
						S _I	S _I	S _I				
						O _I	O _I	O _I	H4	H5	S4	
						N _I	N _I	N _I				
1	Y	N	Y	-	Y	-	-	-	-	-	-	<i>On-condition</i>

4.2 Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif pada masing-masing komponen/unit penyusun sistem *methanator* didasarkan atas hasil perhitungan keandalan (*reliability*), ketersediaan (*availability*), keterawatan (*maintainability*), serta hubungan antara laju kegagalan (*failure rate*) terhadap langkah *preventive maintenance* yang diimplementasikan terhadap masing-masing komponen/unit. Kelima parameter penting tersebut masing-masing disajikan dalam bentuk grafik dan penjelasannya.

4.2.1 Pressure Valve (PV) 1005

Langkah-langkah pengolahan data kuantitatif secara detail telah dipaparkan pada subbab 3.4. Sebagai contoh, Tabel 4.15 berikut adalah data *maintenance record* yang telah dipilah untuk PV-1005 beserta hasil pengolahan *Time To Failure* (TTF), *Time To Repair* (TTR), *Mean Time To Failure* (MTTF), dan *Mean Time To Repair* (MTTR), dari Ms. Excell:

Tabel 4.15 Data Kuantitatif untuk PV-1005

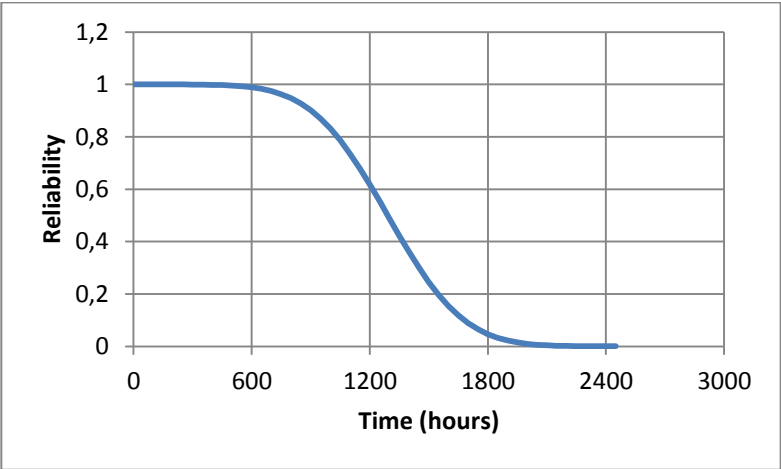
<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	1/3/2008	1/3/2008	2	0
2	2/4/2008	2/4/2008	2	792
3	3/3/2008	3/3/2008	2	696
4	4/2/2008	4/2/2008	2	744
5	5/29/2008	5/29/2008	2	1392
6	7/28/2008	7/28/2008	2	1464
7	9/25/2008	9/25/2008	2	1440
8	11/25/2008	11/25/2008	3	1488
9	1/22/2009	1/22/2009	2	1416
10	3/27/2009	3/27/2009	2	1560
11	9/21/2010	9/21/2010	1	13056
12	3/16/2011	3/16/2011	3	4248
13	3/1/2012	3/1/2012	3	8448
14	10/31/2013	10/31/2013	6	14640
15	10/31/2013	11/1/2013	6	24
JUMLAH			40	51408
RATA-RATA			2,67	3427,20

Kemudian, dari hasil pengolahan *software Reliasoft Weibull ++* didapatkan pola penyebaran data *failure* atau TTF dari PV-1005 mengikuti pola distribusi normal, di mana parameter *mean* adalah sebesar 1290,894000 dan standar deviasi sebesar 303,019200. Tabel 4.16 berikut adalah contoh pengolahan data keandalan pada PV-1005 menggunakan interval variasi waktu setiap penambahan 50 jam, yang diolah dengan Ms. Excell. Rumus keandalan dimasukkan pada kolom R(t) yang disesuaikan dengan distribusinya, yaitu rumus distribusi normal pada Ms. Excell. Selanjutnya untuk parameter ketersediaan, keterawatan, maupun laju kegagalan juga menggunakan cara yang sama.

Tabel 4.16 Pengolahan Data Keandalan PV-1005 di Ms. Excell

Reliability			
Normal		From TTF	
t (hours)	R(t)	mean (μ)	std (σ)
0,001	0,999989	1290,894000	303,019200
50	0,999978	1290,894000	303,019200
100	0,999957	1290,894000	303,019200
150	0,999916	1290,894000	303,019200
200	0,999840	1290,894000	303,019200
...
1100	0,735643	1290,894000	303,019200
1150	0,679022	1290,894000	303,019200
1200	0,617896	1290,894000	303,019200
1250	0,553675	1290,894000	303,019200

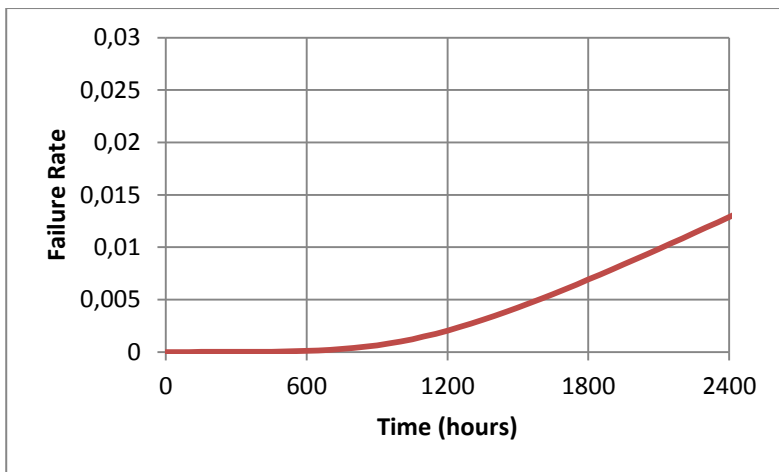
Gambar 4.1 berikut adalah grafik keandalan PV-1005:



Gambar 4.1 Keandalan PV-1005 Terhadap Waktu

Berdasarkan Tabel 4.16, dapat diketahui bahwa keandalan PV-1005 akan menurun hingga mendekati 0,6 atau 60% setelah komponen beroperasi selama 1200 jam.

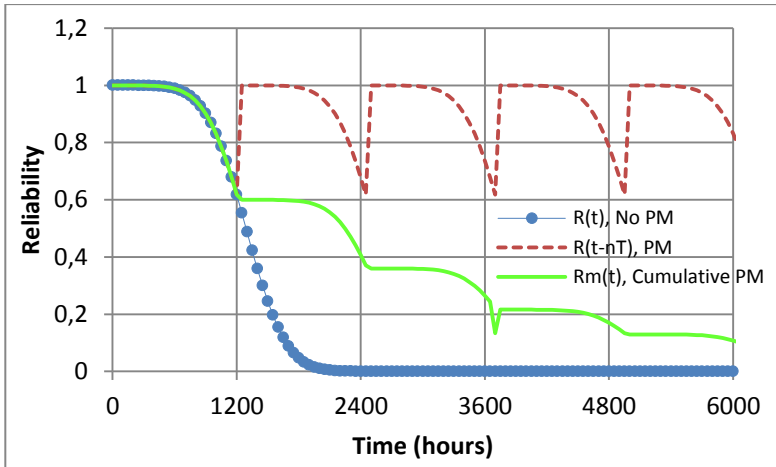
Maintenance yang dilakukan setelah PV-1005 beroperasi selama 1200 jam kemudian dievaluasi menurut laju kegagalannya. Gambar 4.2 berikut adalah grafik laju kegagalan untuk PV-1005:



Gambar 4.2 Laju Kegagalan PV-1005 Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju kegagalannya adalah *increasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* optimal untuk dilakukan pada PV-1005. Berdasarkan *increasing failure rate* tersebut, maka jenis *maintenance* yang paling efektif adalah *scheduled restoration task* pada 1200 jam operasi.

Apabila *preventive maintenance* tersebut diimplementasi, berikut adalah ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada PV-1005:



Gambar 4.3 Penerapan *Preventive Maintenance* pada PV-1005

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat diketahui bahwa pada 4 kali perawatan setiap 1200 jam sekali, nilai keandalan pada perawatan ke-2 hingga ke-4 secara berturut-turut akan meningkat dari 0 ke 0,4 pada 2400 jam, 0 ke 0,3 pada 3600 jam, dan 0 ke 0,15 pada 4800 jam, walaupun pada perawatan pertama di 1200 jam belum terjadi peningkatan nilai keandalan.

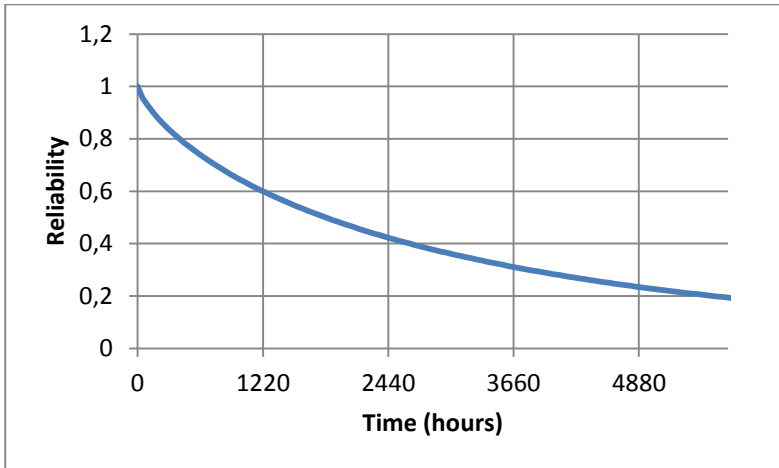
Berdasarkan Gambar 4.3 tersebut, terbukti bahwa untuk suatu komponen dengan *increasing failure rate*, maka *maintenance* yang diterapkan akan efektif, sehingga pada saat suatu perawatan berkala diterapkan pada PV-1005, nilai keandalannya akan semakin meningkat terhadap waktu. Hal tersebut diilustrasikan pada garis biru yang merupakan nilai keandalan tanpa perawatan yang menjadi garis hijau apabila perawatan diterapkan.

4.2.2 *Pressure Transmitter (PT) 1005*

Dengan langkah-langkah yang sama menurut subbab 3.4, data kuantitatif komponen/sistem lainnya diolah untuk mendapatkan parameter-parameter penting yang diinginkan. Data *maintenance record* yang telah dipilah dan diolah hingga

didapatkan MTTF dan MTTR secara lengkap dilampirkan pada Lampiran C.

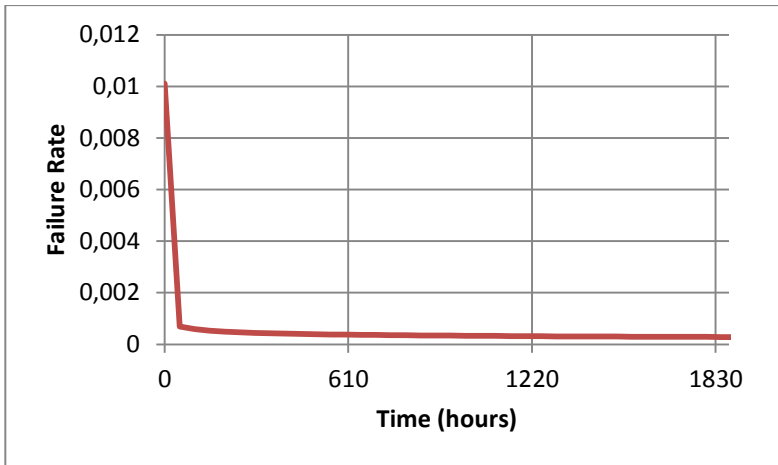
Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari PT-1005 mengikuti pola distribusi *weibull* 2, di mana parameter beta adalah sebesar 0,752600 dan eta sebesar 2974,931000. Gambar 4.4 berikut adalah grafik keandalan dari PT-1005:



Gambar 4.4 Keandalan PT-1005 Terhadap Waktu

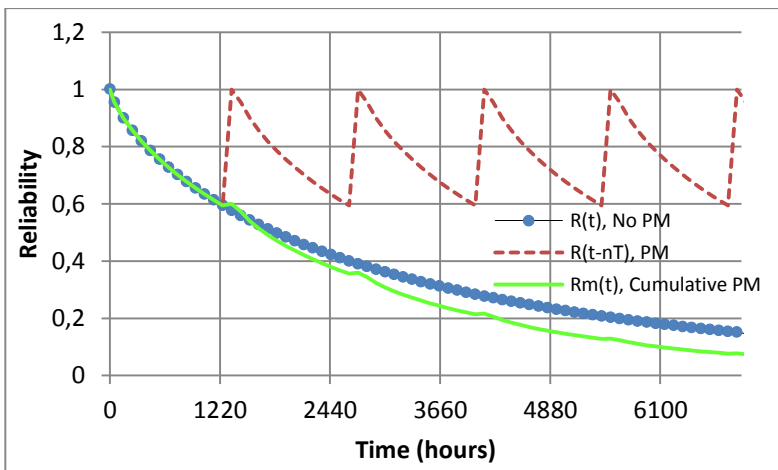
Berdasarkan grafik, dapat diketahui bahwa keandalan PT-1005 akan menurun hingga mendekati 0,6 atau 60% setelah komponen beroperasi selama 1220 jam. Sama seperti komponen pengendalian tekanan sebelumnya, yaitu PV-1005, komponen PT-1005 juga memiliki keandalan yang cukup baik

Kemudian, Gambar 4.5 berikut adalah grafik laju kegagalan untuk PT-1005:



Gambar 4.5 Laju Kegagalan PT-1005 Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju kegagalannya adalah *decreasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* yang telah dilakukan tidak optimal dan tidak cocok diterapkan pada PT-1005, sehingga jenis perawatannya adalah *no scheduled maintenance*.

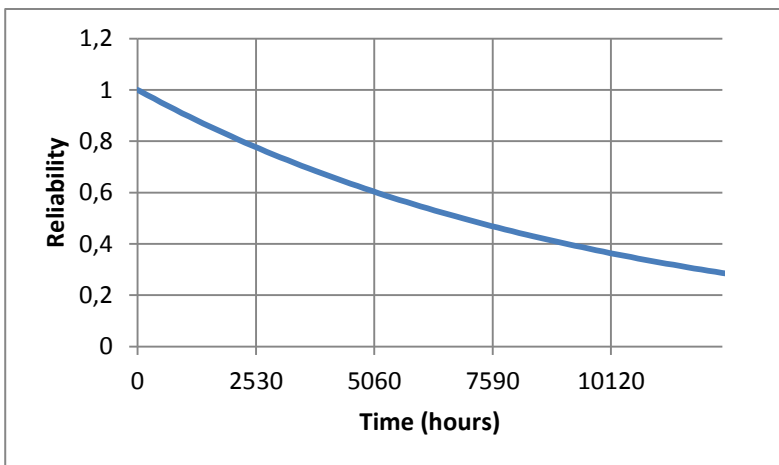


Gambar 4.6 Penerapan *Preventive Maintenance* pada PT-1005

Gambar 4.6 tersebut adalah hasil implementasi perawatan berkala jika diterapkan pada PT-1005. Berdasarkan Gambar 4.6, terbukti bahwa pada saat dilakukan perawatan berkala, tidak ada peningkatan dari nilai keandalan sistem. Pada perawatan pertama di 1220 jam, nilai keandalan masih tetap. Kemudian, pada perawatan ke-2 hingga ke-4 secara berangsur-angsur nilai keandalan akan terus menurun dari nilai keandalan asli tanpa *preventive maintenance*. Hal tersebut sesuai dengan teori dasar, di mana untuk sistem dengan *decreasing failure rate* maka $R_m(t)$ akan berada di bawah $R(t)$, sehingga jenis perawatannya adalah *no scheduled maintenance* karena kegiatan *preventive maintenance* tidak cocok diterapkan pada sistem ini.

4.2.3 Temperature Valve (TV) 1012

Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari TV-1012 mengikuti pola distribusi eksponensial 1, di mana parameter lambda adalah sebesar 0,000100. Gambar 4.7 berikut adalah grafik keandalan dari TV-1012:

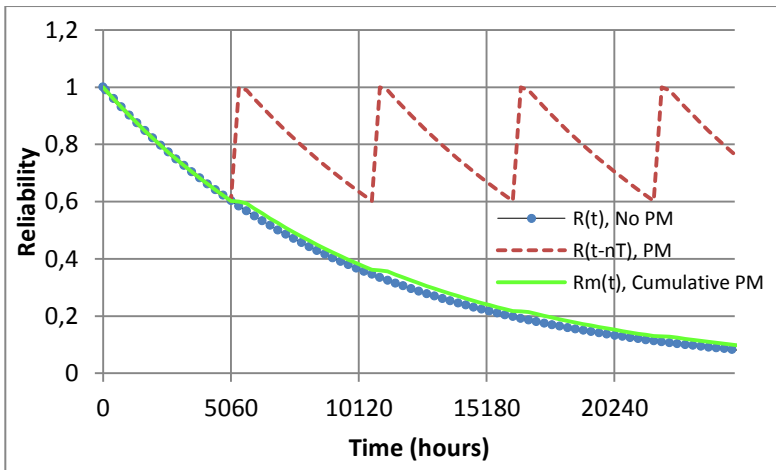


Gambar 4.7 Keandalan TV-1012 Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik, dapat diketahui bahwa keandalan TV-1012 akan menurun hingga mendekati 0,6 atau 60% setelah 10120 jam.

komponen beroperasi selama 5060 jam, artinya komponen pengendalian temperatur ini memiliki nilai keandalan yang cukup baik.

Pola distribusi data eksponensial pada TV-1012 menunjukkan bahwa komponen memiliki laju kegagalan dengan *constant failure rate*, sehingga jenis perawatan yang cocok adalah *scheduled on-condition task*.

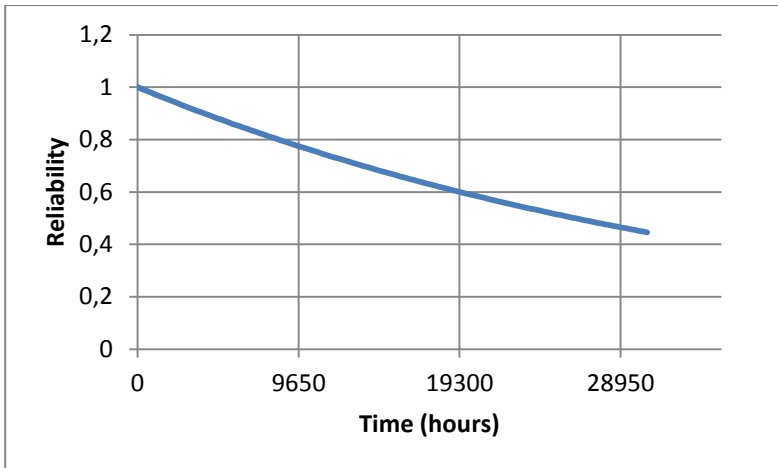


Gambar 4.8 Penerapan *Preventive Maintenance* pada TV-1012

Berdasarkan Gambar 4.8 di atas, terbukti bahwa pada saat dilakukan perawatan berkala, terdapat peningkatan dari nilai keandalan sistem, walaupun tidak begitu signifikan. Hal tersebut merupakan ciri khas dari sistem dengan *constant failure rate*.

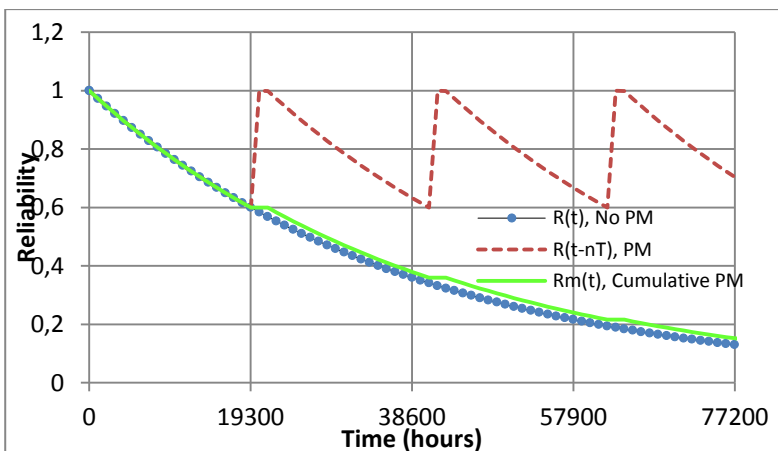
4.2.4 *Temperature Transmitter (TT) 1012*

Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari TT-1012 mengikuti pola distribusi eksponensial 1, di mana parameter lambda adalah sebesar 0,000026. Gambar 4.9 berikut adalah grafik keandalan dari TT-1012:



Gambar 4.9 Keandalan TT-1012 Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik, dapat diketahui bahwa keandalan TT-1012 akan menurun hingga mendekati 0,6 atau 60% setelah komponen beroperasi selama 19300 jam. Nilai keandalan tersebut sangat baik, di mana mengindikasikan bahwa komponen cenderung sangat jarang mengalami mode kegagalan.

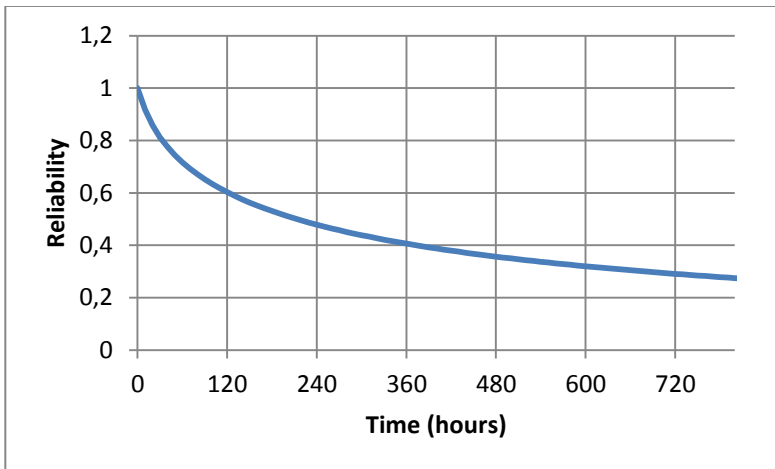


Gambar 4.10 Penerapan *Preventive Maintenance* pada TT-1012

Seperti halnya komponen pengendalian temperatur sebelumnya yaitu TV-1012, pola distribusi data pada TT-1012 juga eksponensial yang menunjukkan bahwa komponen memiliki laju kegagalan dengan *constant failure rate*, sehingga jenis perawatan yang cocok adalah *scheduled on-condition task*. Berdasarkan Gambar 4.10 di atas, terbukti bahwa pada saat dilakukan perawatan berkala, terdapat peningkatan dari nilai keandalan sistem, walaupun tidak begitu signifikan. Hal tersebut merupakan ciri khas dari sistem dengan *constant failure rate*.

4.2.5 Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C

Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari *Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C* mengikuti pola distribusi lognormal, di mana parameter *mean* adalah sebesar 5,362000 dan standar deviasi sebesar 2,209300. Gambar 4.11 adalah grafik keandalan dari *Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C*:

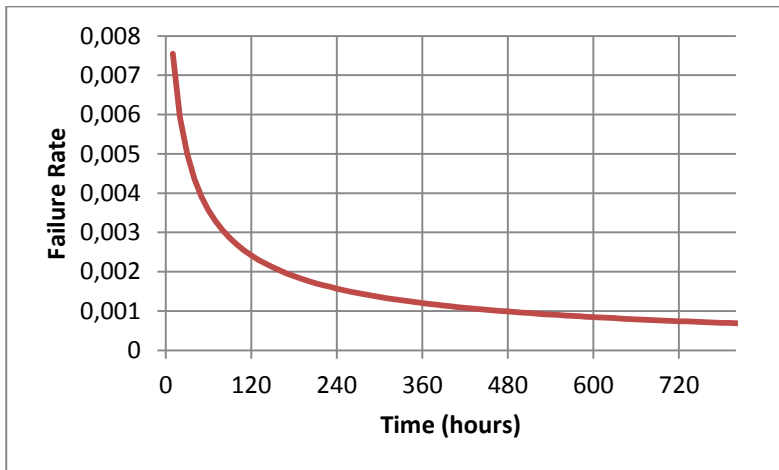


Gambar 4.11 Keandalan *Exchanger 114-C* Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik, dapat diketahui bahwa keandalan *Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C* akan menurun hingga mendekati

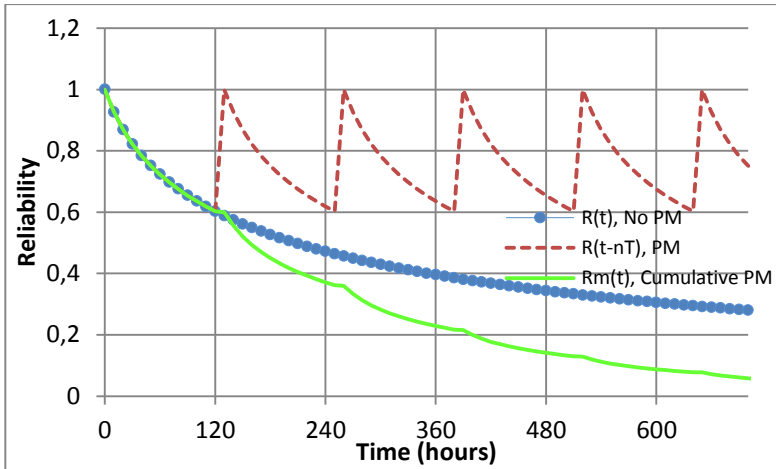
0,6 atau 60% setelah komponen beroperasi selama 120 jam. Nilai keandalan tersebut dikategorikan sangat rendah.

Maintenance yang dilakukan setelah *Exchanger* 114-C beroperasi selama 120 jam kemudian dievaluasi menurut laju keagalannya. Gambar 4.12 berikut adalah grafik laju kegagalan untuk *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C:



Gambar 4.12 Laju Kegagalan *Exchanger* 114-C Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju keagalannya adalah *decreasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* yang telah dilakukan tidak optimal dan tidak cocok diterapkan pada *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C, sehingga jenis perawatannya adalah *no scheduled maintenance*. Gambar 4.13 berikut ini merupakan hasil implementasi perawatan berkala jika diterapkan pada 114-C:

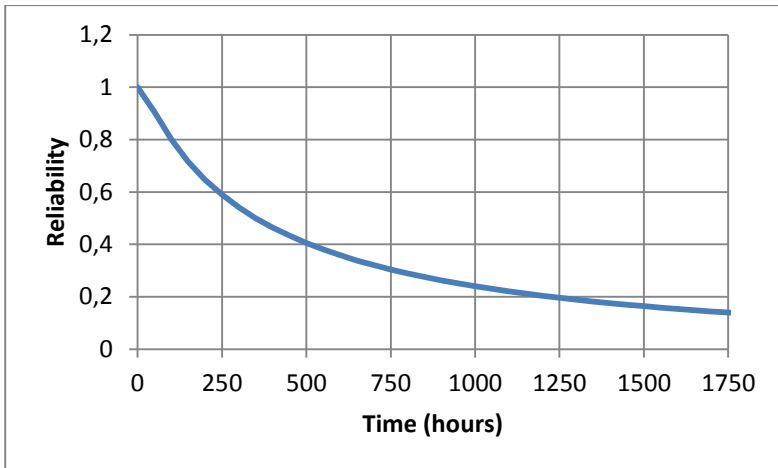


Gambar 4.13 Penerapan *Preventive Maintenance* pada 114-C

Berdasarkan Gambar 4.13 di atas, terbukti bahwa pada saat dilakukan perawatan berkala, tidak ada peningkatan dari nilai keandalan sistem. Pada perawatan pertama di 120 jam, nilai keandalan masih tetap. Kemudian, pada perawatan ke-2 hingga ke-5 secara berangsur-angsur nilai keandalan akan terus menurun dari nilai keandalan asli tanpa *preventive maintenance*. Hal tersebut sesuai dengan teori dasar, di mana untuk sistem dengan *decreasing failure rate* maka $R_m(t)$ akan berada di bawah $R(t)$, sehingga jenis perawatannya adalah *no scheduled maintenance* karena kegiatan *preventive maintenance* tidak cocok diterapkan pada sistem ini.

4.2.6 *Methanator 106-D*

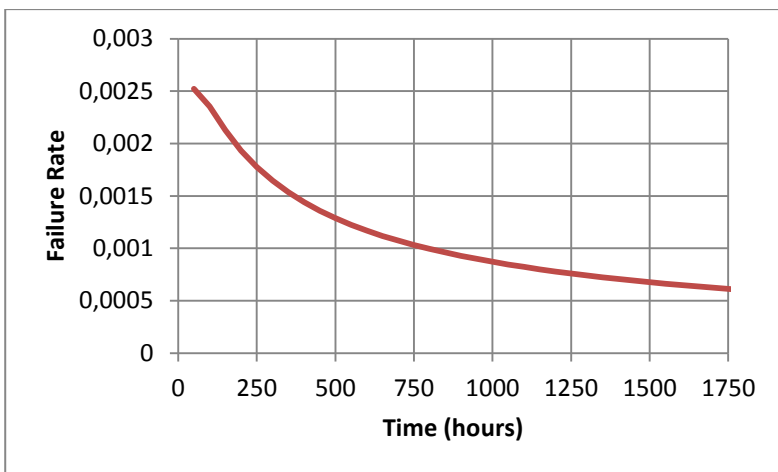
Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari *Methanator 106-D* mengikuti pola distribusi lognormal, di mana parameter *mean* adalah sebesar 5,857000 dan standar deviasi sebesar 1,487500. Gambar 4.14 di bawah ini adalah grafik keandalan dari *Methanator 106-D*:



Gambar 4.14 Keandalan *Methanator* 106-D Terhadap Waktu

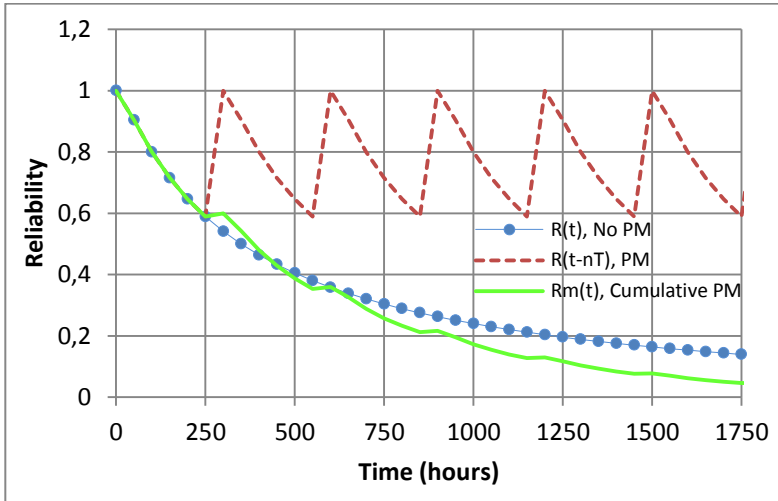
Berdasarkan grafik, dapat diketahui bahwa keandalan *Methanator* 106-D akan menurun hingga mendekati 0,6 atau 60% setelah komponen beroperasi selama 250 jam, yang artinya nilai keandalan unit ini juga cenderung sangat rendah.

Gambar 4.15 adalah laju kegagalan *Methanator* 106-D:



Gambar 4.15 Laju Kegagalan 106-D Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju kegagalannya adalah *decreasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* yang telah dilakukan tidak optimal dan tidak cocok diterapkan pada *Methanator 106-D*.

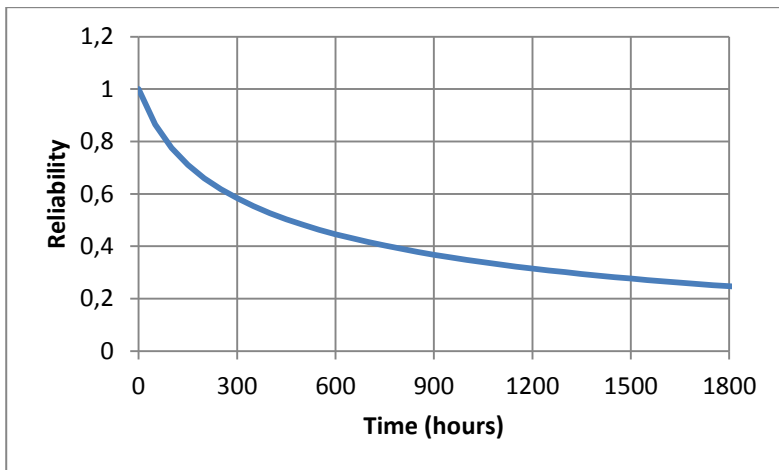


Gambar 4.16 Penerapan *Preventive Maintenance* pada 106-D

Berdasarkan Gambar 4.16 di atas, terbukti bahwa pada saat dilakukan perawatan berkala, tidak ada peningkatan dari nilai keandalan sistem. Pada perawatan pertama di 250 jam, nilai keandalan masih tetap. Kemudian, pada perawatan ke-2 hingga ke-6 secara berangsur-angsur nilai keandalan akan terus menurun dari nilai keandalan asli tanpa *preventive maintenance*. Hal tersebut sesuai dengan teori dasar, di mana untuk sistem dengan *decreasing failure rate* maka $R_m(t)$ akan berada di bawah $R(t)$, sehingga jenis perawatannya adalah *no scheduled maintenance* karena kegiatan *preventive maintenance* tidak cocok diterapkan pada sistem ini.

4.2.7 *Methanator Effluent Cooler 115-C*

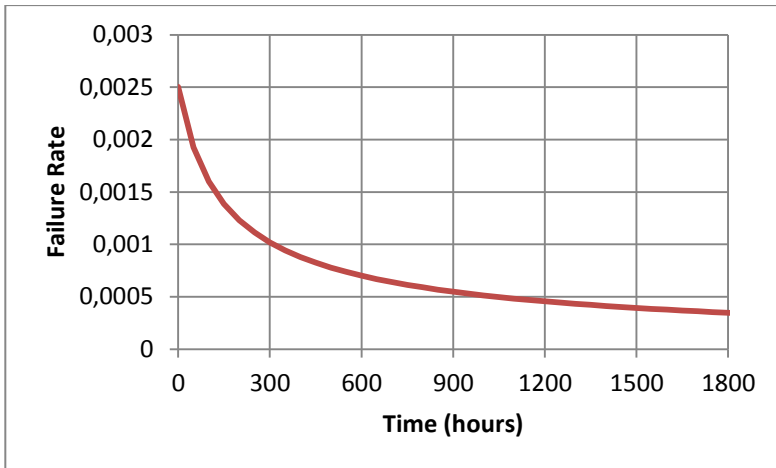
Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari *Methanator Effluent Cooler 115-C* mengikuti pola distribusi lognormal, di mana parameter *mean* adalah sebesar 6,124300 dan standar deviasi sebesar 2,004800. Gambar 4.17 adalah grafik keandalan dari *Methanator Effluent Cooler 115-C*:



Gambar 4.17 Keandalan *Cooler 115-C* Terhadap Waktu

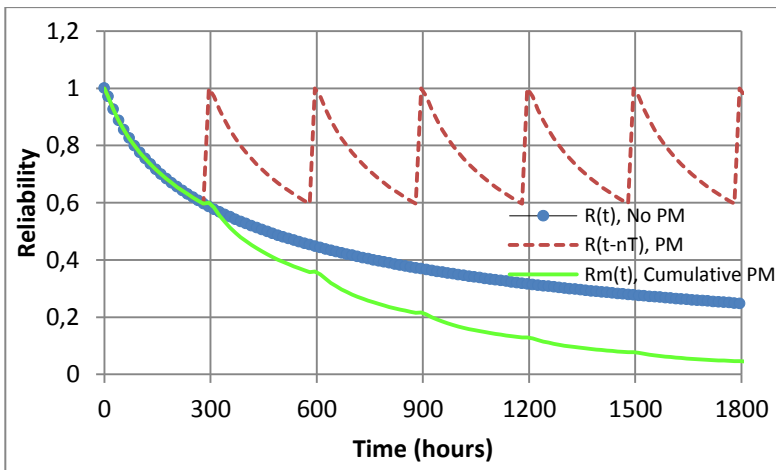
Berdasarkan grafik, dapat diketahui bahwa keandalan *Methanator Effluent Cooler 115-C* akan menurun hingga mendekati 0,6 atau 60% setelah komponen beroperasi selama 300 jam. Seperti pada hasil-hasil sebelumnya, untuk satu unit pada sebuah sistem memang cenderung memiliki nilai keandalan yang rendah, bahkan sangat rendah. Hal tersebut adalah karena satu unit terdiri dari banyak komponen yang masing-masing memiliki mode kegagalan tersendiri, sehingga dalam satu unit akumulasi interval waktu mode kegagalannya menjadi lebih singkat (lebih sering) yang mengakibatkan nilai keandalan semakin rendah.

Gambar 4.18 adalah laju kegagalan untuk *Cooler 115-C*:



Gambar 4.18 Laju Kegagalan Cooler 115-C Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju kegagalannya adalah *decreasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* yang telah dilakukan tidak optimal dan tidak cocok diterapkan pada Cooler 115-C, sehingga jenis perawatannya adalah *no scheduled maintenance*.



Gambar 4.19 Penerapan *Preventive Maintenance* pada 115-C

Berdasarkan Gambar 4.19 di atas, terbukti bahwa pada saat dilakukan perawatan berkala, tidak ada peningkatan dari nilai keandalan sistem. Pada perawatan pertama di 300 jam, nilai keandalan masih tetap. Kemudian, pada perawatan ke-2 hingga ke-5 secara berangsur-angsur nilai keandalan akan terus menurun dari nilai keandalan asli tanpa *preventive maintenance*. Hal tersebut sesuai dengan teori dasar, di mana untuk sistem dengan *decreasing failure rate* maka $R_m(t)$ akan berada di bawah $R(t)$, sehingga jenis perawatannya adalah *no scheduled maintenance*.

Berdasarkan hasil pengolahan data secara kuantitatif, Tabel 4.17 adalah hasil rekap untuk perawatan setiap komponen/unit yang menjadi penjadwalan perawatan itu sendiri, yang dilakukan setiap maksimal sebelum mencapai jam operasi masing-masing.

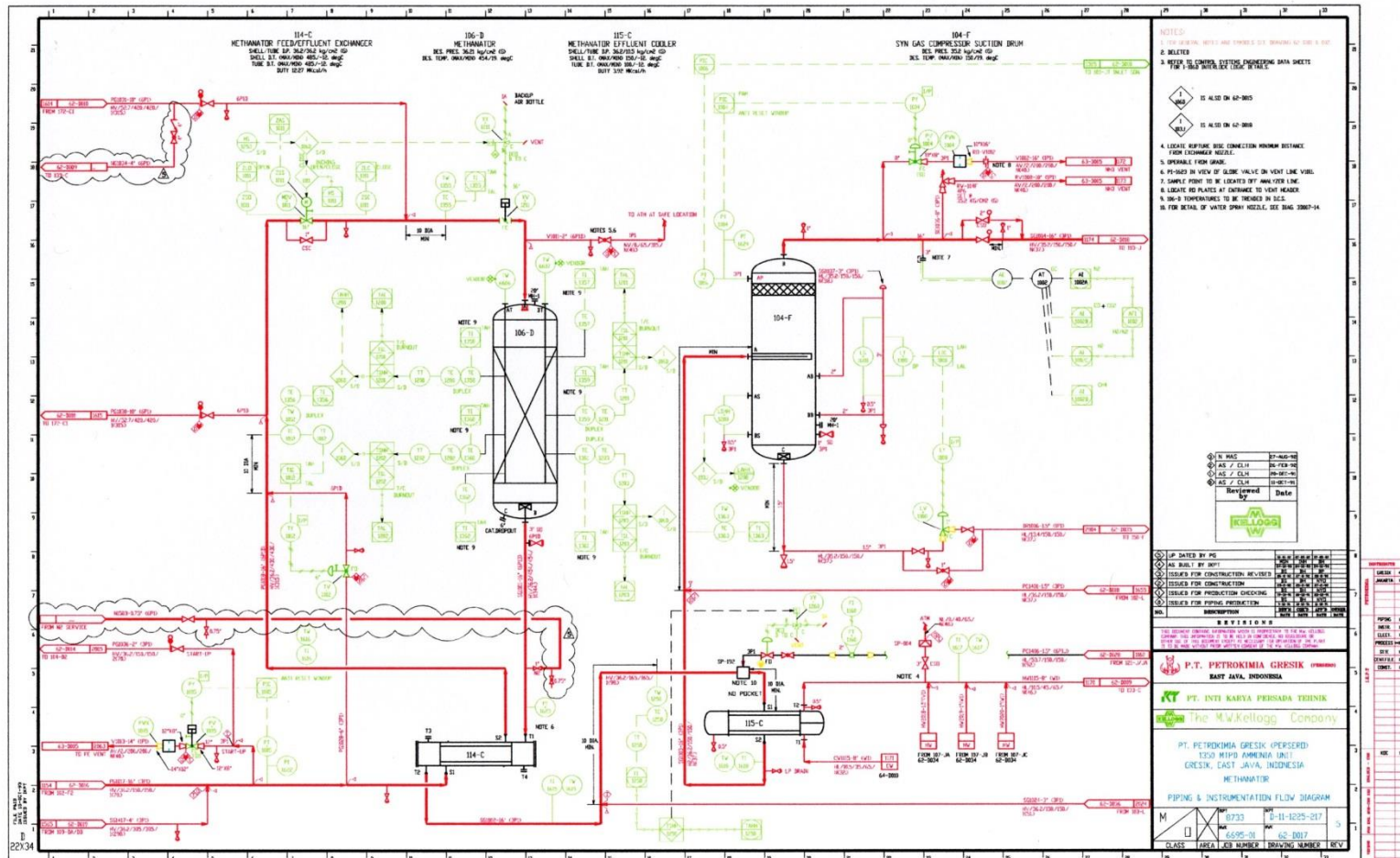
Tabel 4.17 Penjadwalan *Maintenance* Komponen Penyusun Sistem *Methanator* berdasarkan Hasil Implementasi *Preventive Maintenance*

No.	Komponen/ Unit	Jenis <i>Maintenance</i> (Frekuensi)
1	PV-1005	<i>Schedule Restoration Task</i> (1200 jam operasi)
2	PT-1005	<i>No Schedule Maintenance</i>
3	TV-1012	<i>Schedule On-Condition Task</i> (5060 jam operasi)
4	TT-1012	<i>Schedule On-Condition Task</i> (19300 jam operasi)
5	<i>Exchanger</i> 114-C	<i>No Schedule Maintenance</i>
6	<i>Methanator</i> 106-D	<i>No Schedule Maintenance</i>
7	<i>Cooler</i> 115-C	<i>No Schedule Maintenance</i>

Dengan demikian, perawatan komponen/unit yang terjadwal dan berbasis *preventive* atau pencegahan akan lebih efektif dibandingkan dengan penggantian komponen pada saat terjadi kerusakan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A
PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM
(P&ID) SISTEM *METHANATOR*



LAMPIRAN B
LEMBAR VALIDASI DATA



LEMBAR VALIDASI DATA TUGAS AKHIR PT. PETROKIMIA GRESIK

Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir:

Nama : Mugi Nurdini
NRP : 2414.105.027
Fak/Jurusan : Fakultas Teknologi Industri (FTI) /
S1 Teknik Fisika
Universitas : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Judul Tugas Akhir : Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada Sistem *Methanator* di PT. Petrokimia Gresik Pabrik 1 Amoniak

merupakan data tahun 2008 hingga Maret 2016 yang bersumber dari bagian *Reliability*, Departemen Pemeliharaan Pabrik I, PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur. Adapun dalam hal ini acuan nilai *Reliability* (R(t)) yang digunakan PT. Petrokimia Gresik adalah sebesar 0,6 di mana setiap komponen akan di-*maintain* sebelum mencapai nilai keandalan tersebut.

Demikian surat pernyataan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Gresik, April 2016
Pembimbing Lapangan



PT PETROKIMIA GRESIK

TA PABRIK I

Angga Saputra, S.T.

Divisi *Reliability*, Pemeliharaan
Pabrik I, PT. Petrokimia Gresik

LAMPIRAN C
DATA *MAINTENANCE* SISTEM *METHANATOR*

DATA MAINTENANCE RECORD PADA SISTEM METHANATOR

A. PV-1005

Tabel C.1 *Maintenance Record PV-1005*

No.	Start Date	Completion Date	TTR (Hours)	TTF (Hours)
1	1/3/2008	1/3/2008	2	0
2	2/4/2008	2/4/2008	2	792
3	3/3/2008	3/3/2008	2	696
4	4/2/2008	4/2/2008	2	744
5	5/29/2008	5/29/2008	2	1392
6	7/28/2008	7/28/2008	2	1464
7	9/25/2008	9/25/2008	2	1440
8	11/25/2008	11/25/2008	3	1488
9	1/22/2009	1/22/2009	2	1416
10	3/27/2009	3/27/2009	2	1560
11	9/21/2010	9/21/2010	1	13056
12	3/16/2011	3/16/2011	3	4248
13	3/1/2012	3/1/2012	3	8448
14	10/31/2013	10/31/2013	6	14640
15	10/31/2013	11/1/2013	6	24
JUMLAH			40	51408
RATA-RATA			2,67	3427,20

B. PT-1005

Tabel C.2 *Maintenance Record* PT-1005

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	1/4/2007	1/4/2007	2	0
2	3/28/2007	3/28/2007	3	2016
3	9/28/2007	9/28/2007	3	4440
4	1/3/2008	1/3/2008	1	2352
5	3/28/2008	3/28/2008	1	2064
6	3/28/2008	3/28/2008	1	24
7	4/4/2008	4/4/2008	1	192
8	5/29/2008	5/29/2008	1	1344
9	7/28/2008	7/28/2008	1	1464
10	9/25/2008	9/25/2008	1	1440
11	12/31/2008	1/1/2009	4	2352
12	1/27/2009	1/27/2009	1	648
13	3/27/2009	3/27/2009	1	1440
14	3/16/2011	3/16/2011	2	17280
15	4/5/2012	4/5/2012	2	9288
JUMLAH			25	46344
RATA-RATA			1,67	3089,60

C. TV-1012

Tabel C.3 *Maintenance Record* TV-1012

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	1/28/2008	1/28/2008	2	0
2	4/28/2008	4/28/2008	2	2208
3	6/13/2008	6/13/2008	2	1128
4	8/13/2008	8/13/2008	2	1488
5	3/3/2009	3/3/2009	2	4872
6	1/14/2011	1/14/2011	1	16392
7	4/8/2012	4/8/2012	3	10824
JUMLAH			14	36912
RATA-RATA			2,00	5273,14

D. TT-1012

Tabel C.4 *Maintenance Record* TT-1012

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	1/27/2009	1/27/2009	1	0
2	3/27/2009	3/27/2009	1	1440
3	11/27/2014	11/27/2014	2	49728
JUMLAH			4	51168
RATA-RATA			1,33	17056,00

E. 114-C

Tabel C.5 *Maintenance Record Methanator Feed/Effluent Exchanger 114-C*

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	2/12/2009	2/12/2009	2	0
2	2/12/2009	2/12/2009	2	24
3	2/26/2009	2/26/2009	2	360
4	6/21/2010	6/21/2010	4	11544
5	6/29/2010	6/29/2010	10	216
6	7/26/2010	7/26/2010	1	672
7	7/26/2010	7/26/2010	8	24
8	8/19/2010	9/19/2010	2	600
9	9/20/2010	9/20/2010	4	48
10	9/20/2010	9/20/2010	1	24
11	9/21/2010	9/21/2010	1	48
12	2/19/2011	2/22/2011	2	3648
13	3/5/2012	3/7/2012	3	9072
14	3/15/2012	3/16/2012	3	216
15	3/16/2012	3/20/2012	4	24
16	3/26/2012	3/26/2012	1	168
17	3/26/2012	3/26/2012	2	24
18	4/6/2012	4/6/2012	4	288
JUMLAH			56	27000
RATA-RATA			3,11	1500,00

F. 106-D

Tabel C.6 *Maintenance Record Methanator 106-D*

No.	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	2/21/2008	2/21/2008	4	0
2	3/14/2008	3/14/2008	2	552
3	1/30/2009	1/30/2009	5	7752
4	7/7/2009	7/7/2009	3	3816
5	7/30/2009	7/30/2009	3	576
6	8/5/2009	8/7/2009	3	168
7	8/12/2009	8/12/2009	7	144
8	8/24/2009	8/24/2009	8	312
9	8/24/2009	8/24/2009	8	24
10	11/9/2009	11/9/2009	2	1872
11	12/15/2009	12/15/2009	2	888
12	3/1/2010	3/1/2010	3	1848
13	3/9/2010	3/10/2010	3	216
14	4/21/2010	4/21/2010	5	1032
15	4/26/2010	4/26/2010	8	144
16	6/14/2010	6/14/2010	6	1200
17	6/15/2010	6/15/2010	1	48
18	6/17/2010	6/17/2010	1	72
19	9/19/2010	9/19/2010	1	2280
20	9/21/2010	9/21/2010	2	72
21	9/21/2010	9/21/2010	4	24
22	10/19/2010	10/19/2010	5	696
23	10/20/2010	10/20/2010	2	48
24	12/8/2010	12/8/2010	5	1200
25	12/21/2010	12/21/2010	3	336

Tabel C.6 Lanjutan

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
26	3/16/2011	3/16/2011	4	2064
27	5/24/2011	5/24/2011	2	1680
28	7/6/2011	7/11/2011	1	1056
29	7/17/2011	7/17/2011	2	168
30	7/18/2011	7/18/2011	2	48
31	7/22/2011	7/22/2011	3	120
32	7/22/2011	7/22/2011	8	24
33	7/23/2011	7/23/2011	3	48
34	7/23/2011	7/23/2011	3	24
35	7/24/2011	7/24/2011	16	48
36	7/25/2011	7/25/2011	8	48
37	7/26/2011	7/28/2011	8	48
38	8/3/2011	9/27/2011	2	168
39	10/13/2011	10/13/2011	7	408
40	2/17/2012	2/17/2012	20	3072
41	3/5/2012	3/5/2012	7	432
42	3/6/2012	3/6/2012	4	48
43	3/27/2012	3/27/2012	5	528
44	6/1/2012	6/1/2012	6	1608
45	6/25/2012	6/25/2012	3	600
46	9/10/2012	9/17/2012	3	1872
47	9/24/2012	9/24/2012	3	192
48	10/4/2012	10/4/2012	4	264
49	10/15/2012	10/15/2012	5	288
50	6/11/2013	6/11/2013	5	5760
51	10/30/2013	10/30/2013	4	3408

Tabel C.6 Lanjutan

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
52	11/12/2013	11/12/2013	8	336
53	1/27/2014	1/27/2014	6	1848
54	1/28/2014	1/28/2014	2	48
55	2/14/2014	2/14/2014	3	432
56	2/17/2014	2/17/2014	2	96
57	2/26/2014	2/26/2014	4	240
58	4/14/2014	4/14/2014	4	1152
59	4/16/2014	4/16/2014	3	72
60	4/16/2014	4/16/2014	2	24
61	5/28/2014	5/28/2014	3	1032
62	6/12/2014	6/12/2014	4	384
63	7/2/2014	7/2/2014	3	504
64	7/11/2014	7/11/2014	3	240
65	8/14/2014	8/14/2014	8	840
66	9/12/2014	9/12/2014	4	720
67	11/10/2014	11/10/2014	3	1440
68	11/20/2014	11/20/2014	5	264
69	1/2/2015	1/2/2015	5	1056
70	1/25/2015	1/25/2015	4	576
71	2/14/2015	2/14/2015	4	504
72	3/2/2015	3/2/2015	5	408
73	5/4/2015	5/4/2015	4	1536
74	5/29/2015	5/29/2015	4	624
75	7/29/2015	7/29/2015	4	1488
76	9/29/2015	9/29/2015	12	1512
77	9/29/2015	9/29/2015	7	24

Tabel C.6 Lanjutan

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
78	10/1/2015	10/1/2015	3	72
79	10/6/2015	10/6/2015	4	144
80	1/1/2016	1/1/2016	6	2112
81	1/30/2016	1/30/2016	8	720
82	2/11/2016	2/11/2016	4	312
83	2/26/2016	2/26/2016	5	384
JUMLAH			380	70488
RATA-RATA			4,57	849,25

G. 115-C

Tabel C.7 *Maintenance Record Methanator Effluent Cooler*
115-C

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	11/24/2009	11/24/2009	3	0
2	3/3/2010	3/3/2010	1	2400
3	3/5/2010	3/5/2010	4	72
4	3/5/2010	3/5/2010	8	24
5	3/9/2010	3/9/2010	1	120
6	6/1/2010	6/1/2010	3	2040
7	2/10/2011	2/10/2011	4	6120
8	3/16/2011	3/16/2011	4	840
9	9/19/2011	9/19/2011	5	4512
10	1/16/2012	1/16/2012	7	2880
11	11/1/2012	11/1/2012	5	6984

Tabel C.7 Lanjutan

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
12	5/13/2013	5/13/2013	3	4656
13	1/3/2014	1/3/2014	2	5664
14	1/21/2014	1/21/2014	20	456
15	4/21/2014	4/21/2014	4	2184
16	7/2/2014	7/2/2014	3	1752
17	10/1/2014	10/1/2014	4	2208
18	10/3/2014	10/23/2014	16	72
19	10/23/2014	10/23/2014	2	24
20	1/15/2015	1/15/2015	20	2040
21	1/17/2015	1/17/2015	20	72
22	1/18/2015	1/18/2015	1	48
23	1/20/2015	1/20/2015	2	72
24	1/21/2015	1/21/2015	3	48
25	10/12/2015	10/12/2015	8	6360
26	10/16/2015	10/16/2015	1	120
27	12/17/2015	12/17/2015	2	1512
28	12/17/2015	12/17/2015	1	24
29	1/5/2016	1/5/2016	3	480
30	1/6/2016	1/6/2016	8	48
31	1/7/2016	1/7/2016	7	48
		JUMLAH	175	53880
		RATA-RATA	5,64	1738,06

LAMPIRAN D

DATA *HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS*
(HAZOP) DAN HASIL WAWANCARA

HAZOP Worksheet (Ammonia)

Node #	Ref #	Deviation	Cause	Consequences	Safeguards	Rec #	Recommendation	Action By
8	Methanator							
8	8-1	No Flow of Process Gas to Methanator	MOV-1011 is closed or XV-1211 fails closed (D-11-1225-217)	Compressor surge and damage	Handwheel on MOV-1011 or XV-1211 (D-11-1225-217); PIC-1006 (D-11-1225-217); FI-1074 (D-11-1225-218); FV-1007 (D-11-1225-218); XI 6311 through 6314, Vibration monitor with alarm; ZI-6310 through 6312 ,Axial rotor position high high trips; 103 J trips (Alert : 60 um, Danger : 80 um)			
8	8-2	No Flow of Process Gas to Methanator		Higher pressure in upstream of valves	PIC-1005 (Op Value : 31,6 kg/cm2) leads to PV-1005 open (D-11-1225-217); Interlock leads to 103-J trips			
8	8-3	More Flow of Synthesis Gas Across 106-D	PV-1004 Wide open (D-11-1225-217)	Higher differential pressure across 106-D	Interlock leads to 103-J trips 103 J trips			
8	8-4	More Flow of Synthesis Gas Across 106-D		Less flow to 103-J, possible compressor surge and damage	Handwheel on PV-1004; PIC-1004 (D-11-1225-217); FI-1074 (D-11-1225-218); FIC-1007 leads to FV-1007 open (D-11-1225-218); XI 6311 through 6314, Vibration monitor with alarm; ZI-6310 through 6312 , Axial rotor position high high trips; 103 J trips (Alert : 60 um, Danger : 80 um)			

HAZOP Worksheet (Ammonia)

Node #	Ref #	Deviation	Cause	Consequences	Safeguards	Rec #	Recommendation	Action By
8	8-5	Less Flow of Process Gas to Methanator	PV-1005 Wide open (D-11-1225-217)	Compressor surge and damage	Handjack on PV-1005; PIC-1004 (D-11-1225-217); FI-1074 (D-11-1225-218); FIC-1007 leads to FV-1007 open (D-11-1225-218); XI 6311 through 6314, Vibration monitor with alarm; ZI-6310 through 6312, Axial rotor position high high trips; 103 J trips (Alert : 60 um, Danger : 80 um)			
8	8-6	Less Flow of Process Gas to Methanator		Potential Catalyst lift up in 106 D due to reverse flow	Hold down grating			
8	8-7	Misdirected Flow	Tube failure in 114-C	Process gas leaks from methanator inlet side to methanator outlet side, leads to higher CO/CO2 content and resulting in higher load in 109 DA/DB, potential less performance in 105 D catalyst	AI-1002B (CO+CO2 Content) (D-11-1225-217); AI-1016 (CO2 Content) (D-11-1225-219)			
8	8-8	Misdirected Flow	Tube failure in 172-C1	Steam leaks to Process Gas side, causing overpressure	PIC-1005 (Op Value : 31,6 kg/cm2) leads to PV-1005 open (D-11-1225-217); RV-172 C1 (Set : 36,2 kg/cm2) (D-11-1225-210)			
8	8-9			More steam in process gas to 104-F, causing higher level in 104-F	LAH-1008 (Set : 90%) leads to LV-1008 open (D-11-1225217); LAHH-1208 (Set : 750 mm) leads to compressor trips by LSHH-1208 (interlock 103 J) (D-11-1225217)			
8	8-10	Misdirected Flow	Tube failure in 172-C2 during LTS catalyst reduction by natural gas	Process gas leaks to CW side, causing overpressure	Rupture disk SP-104 (D-11-1225-210)			
8	8-11	Misdirected Flow	Tube failure in 115-C1/C2	Process gas leaks to CW side, causing overpressure	Rupture disk SP-004 (D-11-1225-217)			

HAZOP Worksheet (Ammonia)

Node #	Ref #	Deviation	Cause	Consequences	Safeguards	Rec #	Recommendation	Action By
8	8-12	Higher Temperature of Process Gas at 172-C1 inlet	TV-1012 Fails closed (D-11-1225-217)	Higher temperature of process gas at 172-C1 inlet or 106-D possible mechanical damage	TAH-1012 (Set : 330 C); Handwheel on TV-1012 (D-11-1225-217)			
8	8-13	Higher Temperature of Methanator outlet	Higher CO ₂ /CO content in the process gas to 106-D	Temperature will rise due to more reaction, and potential mechanical damage in 114-C	TAH-1357-1362 (Set : 344 C) (D-11-1225-217); TSHH 1200-1203 (Set : 344 C) leads to methanator trip (interlock 106-D) (D-11-1225-217); AI-1003 (CO Content) (D-11-1225-216)			
8	8-14	Higher Temperature of Synthesis Gas to 103-J	Loss of CW to 115-C1/C2	Increasing 103-J suction temperature, causing potential damage	TAH-1364 (Set : 125 C) (D-11-1225-218)			
8	8-15	Higher Temperature of Synthesis Gas to 104-D2	Loss of CW to 172-C2	Increasing reduction gas temperature to 104-D2, resulting in catalyst damage	Catalyst reduction procedure			
8	8-16	Lower Temperature of Process Gas in 172-C1 inlet	TV-1012 Wide open (D-11-1225-217)	Potential CO/CO ₂ slip through methanator due to lower temperature 106-D feed	TAL-1012 (Set : 300 C); Handwheel on TV-1012 (D-11-1225-217)			
8	8-17	Lower Temperature of Process Gas in 172-C1 inlet		Higher temperature in 114-C cold section, piping to 115 C1/C2 and 115-C1/C2 resulting in potential damage.	Mechanical design			
8	8-18	Lower Temperature of Process Gas in 172-C1 inlet		Increasing 103-J suction and discharge temperature, causing potential damage	TAH-1364 (Set : 125 C) (D-11-1225-218)			

HAZOP Worksheet (Ammonia)

Node #	Ref #	Deviation	Cause	Consequences	Safeguards	Rec #	Recommendation	Action By
8	8-19	Higher Pressure of Process Gas	PV-1005 Doesn't open when required (D-11-1225-217)	Overpressure in feed line to 106-D	Handjack on PV-1005 (D-11-1225-217); PIC-1030; PV-1030 (D-11-1224-214); RV-104 D2 (Set : 39,7 kg/cm2) (D-11-1224-214); PIC-1006 (D-11-1225-217); PIC-1004 (Set : 30,5 kg/cm2) leads to PV-1004 open (D-11-1225-217); RV-104F (Set : 35,2 kg/cm2) (D-11-1225-217);			
8	8-20	Higher Pressure of Process Gas	PV-1004 Doesn't open when required (D-11-1225-217)	Overpressure in feed line to 106-D	Handwheel on PV-1004 (D-11-1225-217); PIC-1006 (D-11-1225-217); PIC-1005 leads to PV-1005 open open (D-11-1225-217); RV-104F (Set : 35,2 kg/cm2) (D-11-1225-217)			
8	8-21	Lower Pressure of Process Gas to Methanator	Covered bu Scenario 8-1, 8-4, and 8-5					
8	8-22	Higher Level in 104-F	LV-1008 Fails closed (D-11-1225-217)	Possible mist carry over and Syn Gas compressor damage	LAH-1008 (Set : 90%); LAHH-1208 (Set : 750 mm) leads to 103-J trips by LSHH-1208 (interlock 103 J); By pass valve around LV-1008 (D-11-1225-217)			
8	8-23	Lower Level in 104-F	LV-1008 Wide open (D-11-1225-217)	Loss of liquid level and Process Gas breakthrough to the cooling waer pit. Potential external fire or explosion.	LAL-1008 (Set : 10%) ; Isolation and by pass valve LV-1008 (D-11-1225-217)			
8	8-24	As Well As Composition	H2/N2 ratio high	Potential lower efficiency in synthesis reaction	AFI-1002 (D-11-1225-217)			
8	8-25	As Well As Composition	H2/N2 ratio low	Potential lower efficiency in synthesis reaction	AFI-1002 (D-11-1225-217)			

Data Wawancara dengan Operator Plant Amoniak

No.	Pertanyaan	Jawaban
1	Apa saja komponen kritis pada <i>Methanator Feed/Effluent Exchanger</i> 114-C?	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Pressure Transmitter</i> (PT) 1005 - <i>Temperature Transmitter</i> (TT) 1012
2	Apa saja mode kegagalan dari <i>Pressure Transmitter</i> (PT) 1005?	- Terjadinya suatu kebocoran pada <i>lower</i> tubing
3	Apa saja penyebab dari terjadinya kebocoran bagian <i>tube</i> pada <i>Pressure Transmitter</i> (PT) 1005?	<ul style="list-style-type: none"> - Akibat suatu sifat korosif material - Drainase yang terbuka - Terjadinya suatu pergeseran <i>plug/baut</i>
4	Apa saja mode kegagalan dari <i>Temperature Transmitter</i> (TT) 1012?	<ul style="list-style-type: none"> - Debu pada fluida kerja menyebabkan penyumbatan serta membran yang sudah kaku - Terdapat kebocoran pada membran
5	Apa saja penyebab dari penyumbatan serta membran yang sudah kaku pada <i>Temperature Transmitter</i> (TT) 1012?	- Terdapat kebuntuan pada tekanan <i>upper</i>
6	Apa saja penyebab dari kebocoran membran pada <i>Temperature Transmitter</i> (TT) 1012?	<ul style="list-style-type: none"> - Umur pakai (<i>lifetime</i>) -Antara bagian <i>High</i> dan <i>low</i> terlalu besar <i>gap</i>-nya

Data Wawancara dengan *Engineer* Plant Amoniak

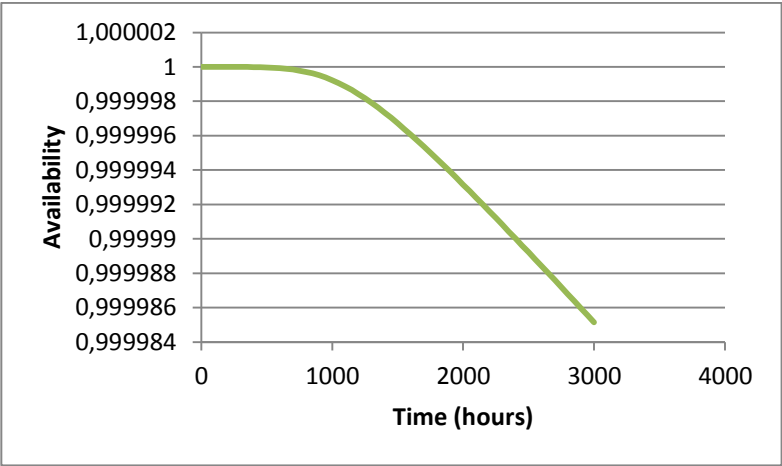
No.	Pertanyaan	Jawaban
1	Apa saja komponen kritis pada <i>Methanator Feed/Effluent Exchanger</i> 114-C?	- <i>Pressure Valve</i> (PV) 1005 - <i>Temperature Valve</i> (TV) 1012
2	Apa saja mode kegagalan dari <i>Pressure Valve</i> (PV) 1005?	- <i>Pressure Valve</i> (PV) 1005 tidak bisa menutup secara sempurna
3	Apa saja penyebab dari <i>Pressure Valve</i> (PV) 1005 yang tidak bisa menutup secara sempurna?	- Gas input terbuang secara sia-sia

LAMPIRAN E
THE RCM II DECISION DIAGRAM

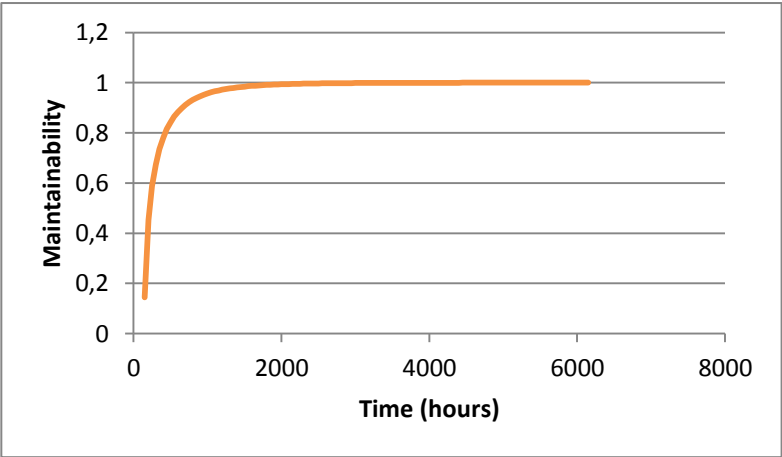
LAMPIRAN F
GRAFIK KETERSEDIAAN $A(t)$ DAN
KETERAWATAN $M(t)$

PV-1005

Pada 1200 jam operasi, didapatkan nilai *availability* A(t) dari PV-1005 sebesar 0,999998.

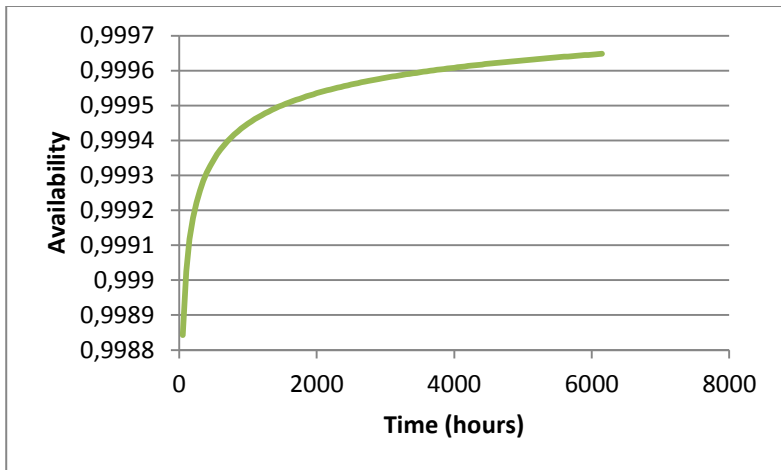


Sementara, nilai M(t) untuk PV-1005 pada 1200 jam operasi sebesar 0,972012.

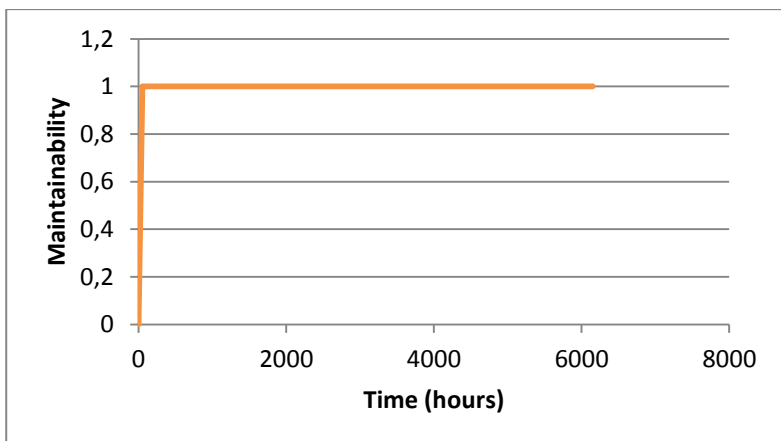


PT-1005

Pada 1220 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari PT-1005 sebesar 0,999478.

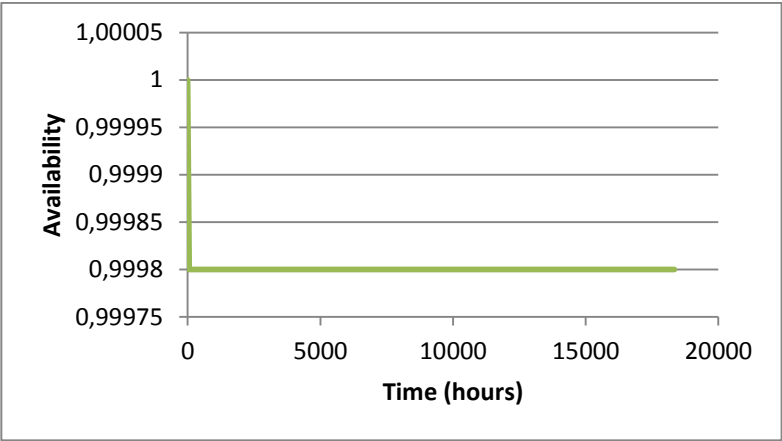


Sementara, nilai $M(t)$ untuk PT-1005 pada 1220 jam operasi sebesar 1,000000.

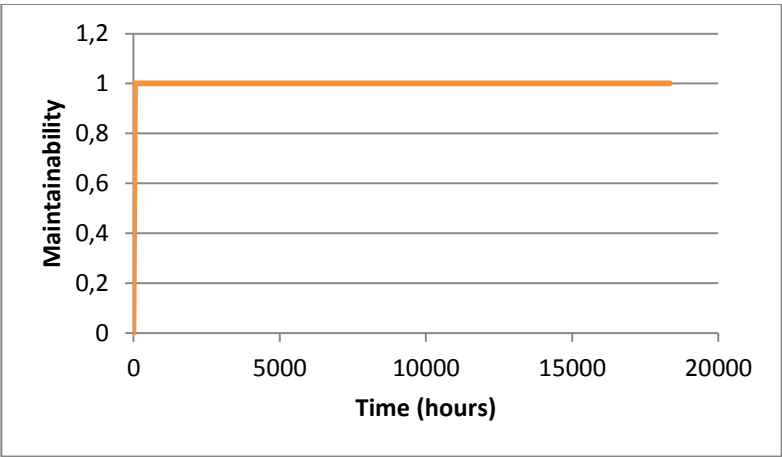


TV-1012

Pada 5060 jam operasi, didapatkan nilai *availability* A(t) dari TV-1012 sebesar 0,999888.

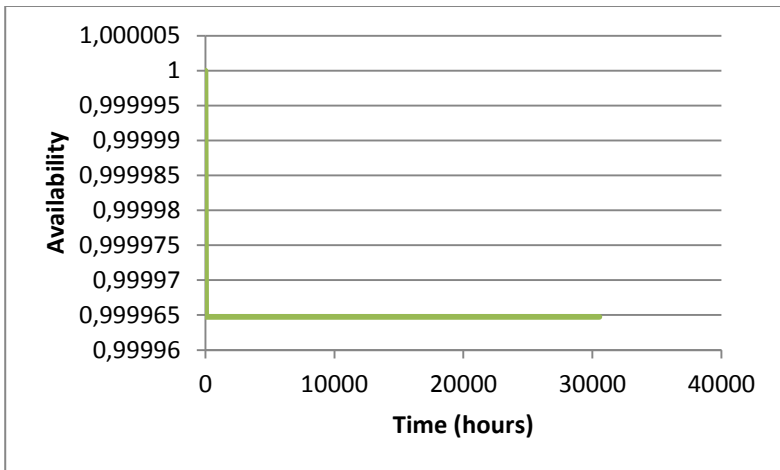


Sementara, nilai M(t) untuk TV-1012 pada 5060 jam operasi sebesar 1,000000.

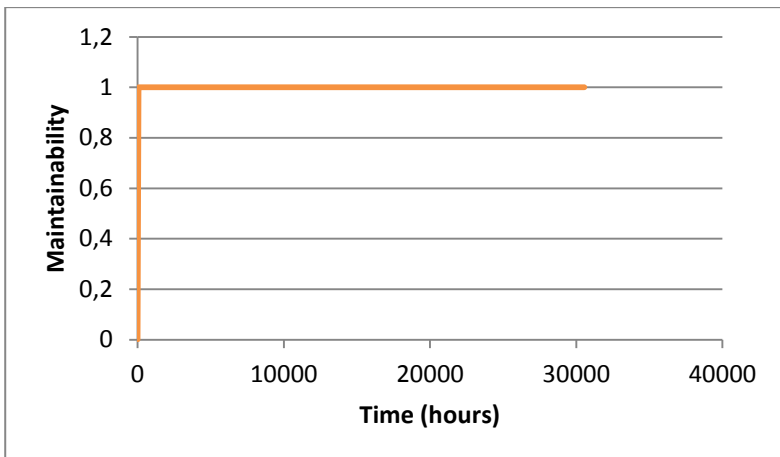


TT-1012

Pada 19300 jam operasi didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari TT-1012 sebesar 0,999965.

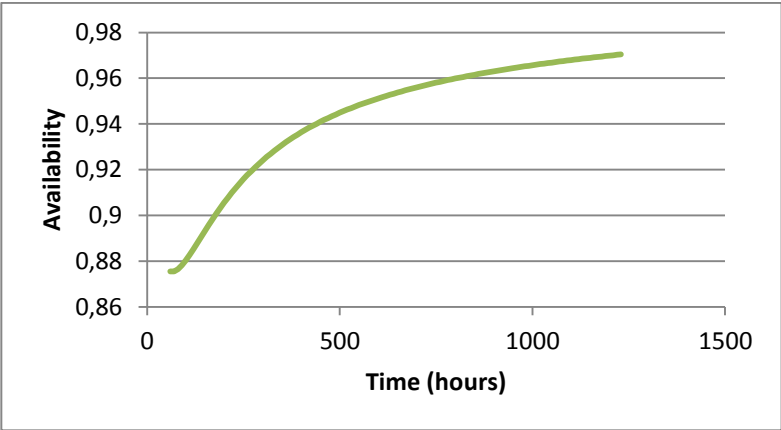


Sementara, nilai $M(t)$ untuk TT-1012 pada 19300 jam operasi sebesar 1,000000.

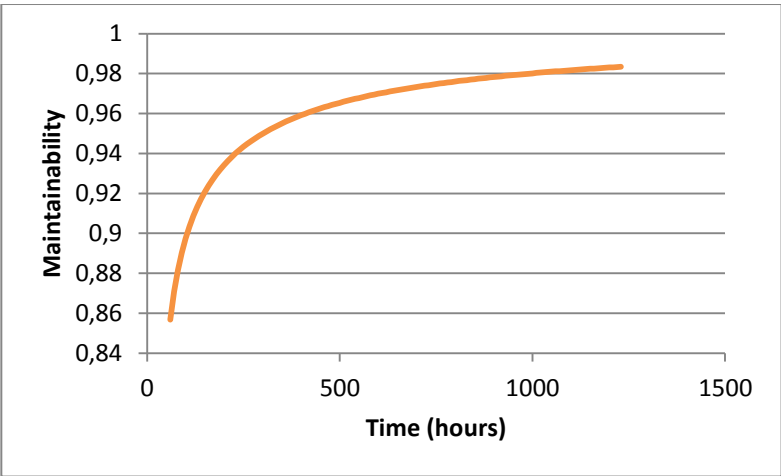


114-C

Pada 120 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C sebesar 0,885222.

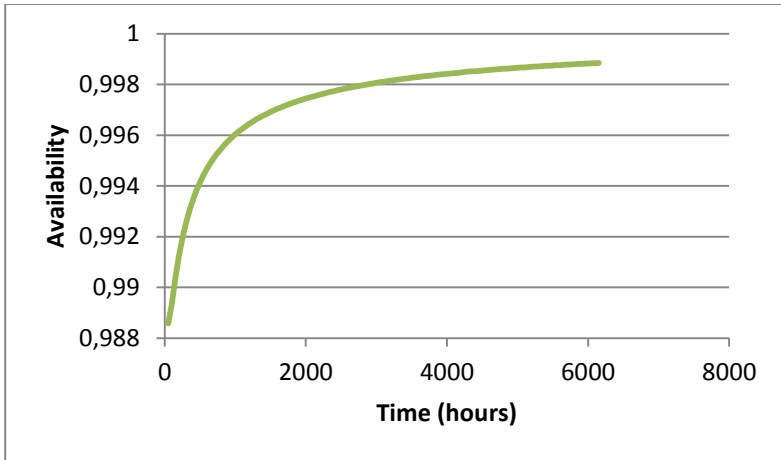


Sementara, nilai $M(t)$ untuk *Methanator Feed/Effluent Exchanger* 114-C pada 120 jam operasi sebesar 0,908655.

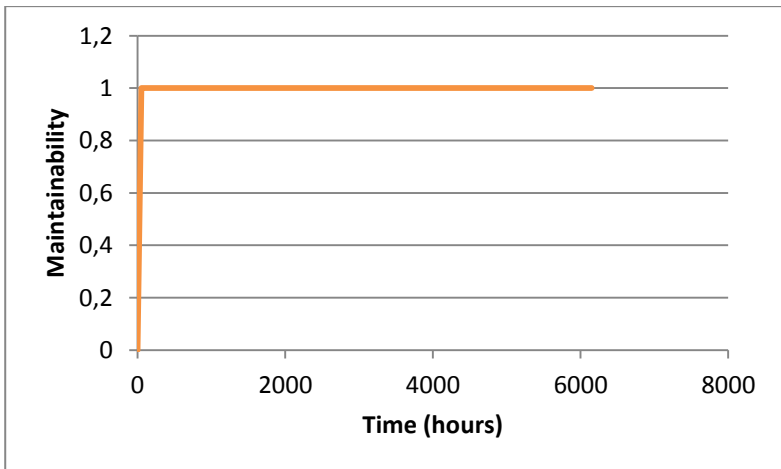


106-D

Pada 250 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *Methanator* 106-D sebesar 0,991937.

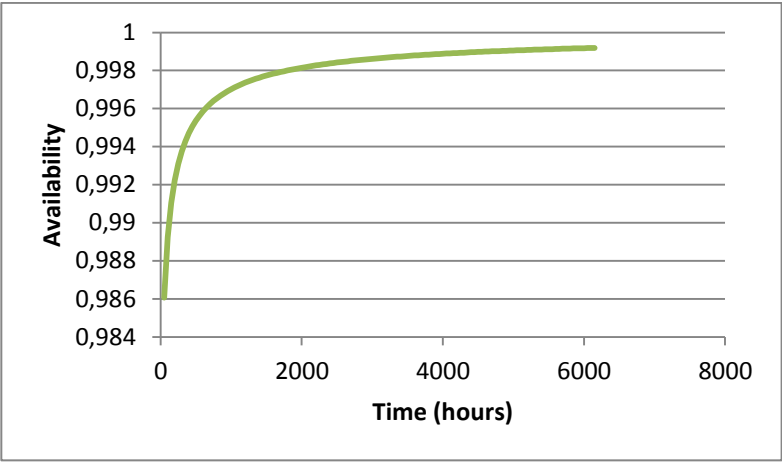


Sementara, nilai $M(t)$ untuk *Methanator* 106-D pada 250 jam operasi sebesar 1

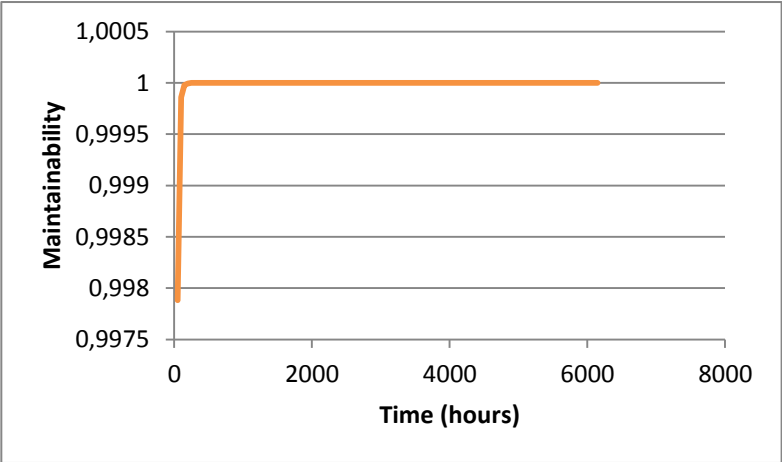


115-C

Pada 300 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *Methanator Effluent Cooler* 115-C sebesar 0,993755.



Sementara, nilai $M(t)$ untuk *Cooler* 115-C pada 300 jam operasi sebesar 1,000000.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa kesimpulan yang dapat menjawab tujuan penelitian yang diinginkan:

- Dengan menggunakan metode RCM, aspek kualitatif maupun kuantitatif dari setiap komponen maupun unit yang ada telah dilakukan, di mana kedua aspek tersebut sangat berkaitan untuk mendapatkan perawatan yang sesuai bagi setiap komponen/unit.
- Secara umum, setiap unit besar yaitu *Exchanger* 114-C, *Cooler* 115-C, dan tabung *Methanator* 106-D itu sendiri, merupakan unit-unit yang bersifat kritis karena berdasarkan analisis kualitatif terdapat banyak mode kegagalan. Kemudian, berdasarkan analisis kuantitatif nilai keandalannya pun sangat rendah, di mana *life cycle* rata-ratanya adalah 223 jam operasi. Komponen-komponen pendukung seperti *valve* maupun *transmitter*, sebagai komponen pengendalian temperatur dan tekanan, sebaliknya memiliki keandalan yang baik, di mana rata-rata *life cycle*-nya adalah 6695 jam operasi. Berdasarkan analisis kualitatif pun tidak banyak ditemukan mode kegagalan yang berarti.
- Berdasarkan 7 komponen yang ada, berikut adalah penjadwalan perawatan yang tepat:
 - PV-1005 harus dilakukan *scheduled restoration task* setiap 1200 jam operasi
 - PT-1005 harus dilakukan *no scheduled maintenance*
 - TV-1012 harus dilakukan *scheduled on-condition task* setiap 5060 jam operasi
 - TT-1012 harus dilakukan *scheduled on-condition task* setiap 19300 jam operasi

- *Exchanger 114-C* harus dilakukan *no scheduled maintenance*
- *Methanator 106-D* harus dilakukan *no scheduled maintenance*
- *Cooler 115-C* harus dilakukan *no scheduled maintenance*

5.2 Saran

Pengembangan pada penelitian selanjutnya dengan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM), terutama untuk sistem sejenis, dapat lebih memperhatikan teknik pengolahan datanya. Pada pengolahan data kuantitatif, variasi penambahan jam operasi bisa diimplementasikan dengan jarak yang lebih sempit, sehingga nilai jam operasi pada nilai keandalan tertentu dari komponen/unit dapat teridentifikasi lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Dokumen Proses Amoniak (NH₃) PT. Petrokimia Gresik.** Gresik: Departemen Pemeliharaan I, Petrokimia.
- [2] Wahyudi, Didik. 2010. “Analisis Perawatan Unit Pembangkitan Gresik Unit III dengan Metode *Reliability Centered Maintenance*”. **Seminar Nasional VI, SDM Teknologi Nuklir.** Yogyakarta.
- [3] Aufar, Azka Nur. 2014. “Usulan Kebijakan Perawatan Area Produksi *Trim Chassis* dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* (Studi Kasus PT. Nissan Motor Indonesia)”. **Jurnal Online Institut Teknologi Nasional.** Bandung: Itenas.
- [4] Lukodono, Rio Prasetyo. 2013. “Analisis Penerapan Metode RCM dan MVSM untuk Meningkatkan Keandalan pada Sistem *Maintenance* (Studi Kasus PG. X)”. **Jurnal Rekayasa Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.** Malang.
- [5] Moubray, John. 1997. **Reliability Centered Maintenance II, 2nd ed.** North Carolina, USA: Industrial Press Inc.
- [6] **Dokumen *Upgrading Staf Operasi Pabrik Utilitas/Amoniak/Urea* PT. Pusri.** Palembang.
- [7] Ebeling, Charles E. 1997. ***An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.*** New York, USA: Waveled Press Inc.
- [8] Dhillon, B.S. 2004. **Reliability, Quality, and Safety for Engineers.** Florida, USA: CRC Press.
- [9] SINTEF Industrial Management. 2002. ***Offshore Reliability Data (OREDA), 4th ed.*** Norway: Oreda Participants.
- [10] Hermawan, Arif Rahmat. 2015. “Implementasi *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pada Proses Pemurnian Gas (*Gas Sweetening System*)”. **Buku Laporan Tugas Akhir Teknik Fisika ITS.** Surabaya: ITS.

- [11] Marten, Felix. 2010. "*Reliability Centered Maintenance: A Case Study of Railway Transit Maintenance to Achieve Optimal Performance*". **Proceeding of Mineta Transportation Institute**. San Jose: MTL.
- [12] Suprayogi. 2006. **Distribusi Probabilitas Kontinyu Teoretis**. Bandung: ITB.

TENTANG PENULIS



Akrab disapa dengan panggilan Mugi di dalam kesehariannya, penulis laporan tugas akhir yang bernama lengkap Mugi Nurdini ini merupakan mahasiswa S1 Lintas Jalur jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Lintas jalur merupakan sebutan lain dari program ekstensi dari lulusan D3 yang ingin menambah dua tahun masa perkuliahan untuk mendapatkan gelar Sarjana. Penulis yang berasal dari kota Cimahi ini sebelumnya adalah

mahasiswa program D3 Metrologi dan Instrumentasi di Institut Teknologi Bandung (ITB).

Mahasiswa perantauan ini aktif di kegiatan-kegiatan kampus dan luar kampus, baik akademik maupun non akademik. Baginya, menjadi mahasiswa merupakan kesempatan untuk belajar, mengasah pola pikir, berkarya, dan melatih diri untuk menjadi pemimpin masa depan. Tercatat banyak prestasi nasional dan internasional yang telah diraihinya, salah satunya adalah menjadi delegasi Indonesia pada program *Indonesia-China Youth Exchange Program* 2015, yang merupakan bagian dari program Pertukaran Pemuda Antar Negara (PPAN) yang diprakarsai oleh Kementerian Pemuda dan Olahraga, Republik Indonesia. Di tahun yang sama, penulis juga menjadi delegasi Indonesia untuk program *Asia-Pacific Alliance for Leadership and Community Development* di Malaysia, yang diadakan oleh *Postgraduate Student Association*, Universiti Sains Malaysia. Menyusul Oktober 2016 mendatang, penulis akan mewakili OSA ITS *Student Chapter* untuk mengikuti *Student Leadership Conference* di Rochester, New York, Amerika Serikat.